

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

HORNICKO – GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství

**VYBRANÉ CHARAKTERISTIKY
ATMOSFÉRICKÝCH SRÁŽEK
V MORAVSKOSLEZSKÉM A OLOMOUCKÉM KRAJI**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:

Bc. Tereza Stanková

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jitka Chromíková, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Institute of Environmental Engineering

**SELECTED CHARACTERISTICS
OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION
IN THE MORAVIAN-SILESIA REGION
AND OLOMOUC REGION**

DIPLOMA THESIS

Author:

Bc. Tereza Stanková

Thesis Supervisor:

Ing. Jitka Chromíková, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tereza Stanková**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství
Téma: **Vybrané charakteristiky atmosferických srážek v Moravskoslezském a Olomouckém kraji**
Selected Characteristics of Atmospheric Precipitation in the Moravian-Silesian Region and Olomouc Region

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Chemismus ovzduší a atmosferických srážek
3. Popis sledovaných lokalit a metodika odběru vzorků
4. Metodika analýz a výpočtových metod
5. Výsledky a diskuse
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

KURFÜRST, J. Kompendium ochrany kvality ovzduší. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., 2008. 408 s. ISBN 978-80-86832-38-8.


Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jitka Chromíková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28.4.2017

Bc. Tereza Stanková

Autorka Tereza

Poděkování

Ráda bych touto cestou vyjádřila poděkování Ing. Jitce Chromíkové, Ph.D., za její cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce. A také za vstřícnost a pomoc při získání potřebných informací a podkladů.

Anotace:

Diplomová práce se zabývá mechanismem atmosférických srážek, který je velmi důležitým procesem ovlivňujícím čistotu ovzduší. Srážky totiž při spadu zachycují částice nečistot a absorbují znečištění v plynných složkách. Tato práce dále popisuje konkrétní znečištění atmosférických srážek, odvádění těchto srážek a jejich dalších možností využití a to hlavně v domácnostech. Popisuje také metody analýz a stanovení jednotlivých ukazatelů atmosférických srážek. Dále se zde nachází popis sledované lokality a odběr vzorků z vybraných lokalit v Moravskoslezském a Olomouckém kraji a jejich vyhodnocení společně s vyhodnocením kvality srážkových vod z dat získaných z databáze ČHMÚ.

Klíčová slova: atmosférické srážky, chemismus, polutanty, atmosférická depozice, znečištění

Summary:

The diploma thesis deals with the mechanism of atmospheric precipitations, which is a very important process influencing the air cleanliness. When falling, precipitations catch particles of dirt and absorb pollution from gas components. The thesis also describes particular pollution of atmospheric precipitation, its drainage and further use, primarily in households. It also describes the methods of analysis and determination of individual parameters in the selected location of the Moravian-Silesian and Olomouc region. There is also their evaluation together with evaluation of the quality of precipitation water from data acquired from the Czech Hydrometeorological Institute.

Key words: Atmospheric precipitation, chemism, pollutants, atmospheric deposition, pollution

OBSAH

1	Úvod	1
2	Chemismus ovzduší a atmosférických srážek	3
2.1	Polutanty v ovzduší	3
2.1.1	Sloučeniny síry	4
2.1.2	Sloučeniny dusíku	4
2.1.3	Oxid uhelnatý	5
2.1.4	Kovy	5
2.2	Fyzikální vlastnosti atmosférických srážek	6
2.3	Znečištění atmosféry	7
2.4	Znečištění hydrosféry	9
2.5	Atmosférické vody	10
2.5.1	Atmosférické srážky	11
2.5.2	Atmosférická depozice	13
3	Odvod a využití srážek	14
3.1	Dešťové odpadní vody	16
3.1.1	Anorganické látky	17
3.1.2	Organické látky	18
3.2	Nejčastější způsoby nakládání se srážkovou vodou	19
3.3	Možnosti využití srážkových vod	21
4	Popis sledované lokality a odběr vzorků	23
4.1	Olomoucký kraj	23
4.2	Moravskoslezský kraj	25
4.3	Odběr vzorků	26
5	Metody analýz a výpočtových metod	28

5.1	Stanovení ukazatelů	28
5.1.1	pH	28
5.1.2	Vodivost	29
5.1.3	F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-	29
5.1.4	Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Fe a Zn.....	30
5.1.5	NH_4^+	31
5.1.6	Cd, Pb, Ni, Mn, As a Cr	31
5.2	Chemické složení	32
6	Výsledky a diskuze	33
6.1	Vyhodnocení chemismu.....	33
7	Závěr	55

Seznam použité literatury

Seznam použitých zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

1 ÚVOD

Cílem diplomové práce bylo vyhodnotit vybrané charakteristiky atmosférických srážek v Moravskoslezském a Olomouckém kraji. Všechny vybrané charakteristiky pocházejí ze dvou měřicích stanic v okrese Frýdek - Místek a dále v lokalitách Tovačov a Ostrava - Poruba.

V jednotlivých kapitolách se práce zabývá chemismem ovzduší a atmosférických srážek, kde jsou popsány polutanty v ovzduší, fyzikální vlastnosti atmosférických srážek a také celkové znečištění atmosféry. Dále se práce zabývá odvodem a dalším využitím srážek, kde je nejdůležitější, že voda, která se vrací do krajiny, významně přispívá ke stabilitě klimatu. Jako jeden z hlavních cílů urbanismu je totiž posilování vodních zásob, které je nutné ke zvyšování kvality životního prostředí. Praktická část po té zahrnuje popis sledované lokality a odběr vzorků ve vybraných lokalitách a dále popisuje metody analýz, stanovení jednotlivých ukazatelů a jejich chemické složení.

Mechanismus atmosférických srážek je velmi důležitým procesem ovlivňujícím čistotu ovzduší. Srážky při spadu zachycují částice nečistot a absorbují znečištění v plynných složkách. Do atmosférických srážek se příměsi dostávají při vzniku srážky v atmosféře nebo v průběhu jejich spadu v podoblačné vrstvě ovzduší. První mechanismus označuje literatura jako „vypršení“, druhý pak „vymytí“. Díky pozorování kvality srážek je vysledováno, že v průběhu či bezprostředním spadnutí významnějších srážek vzduch obsahuje nižší koncentrace znečišťujících příměsí než před začátkem srážek. Ohledně čistoty ovzduší pak mají srážky pozitivní vliv na vzduch, zároveň však koncentrace škodlivých příměsí ve srážkách spadlých na zem mohou ovlivnit vegetaci a půdu, případně zapříčinit kontaminaci podpovrchové vody a poškození staveb (Bednář, 2003).

Jevy a procesy, které probíhají v atmosféře, mají poměrně vysokou dynamiku a proměnlivost v čase a prostoru. Čistota ovzduší ovlivňuje také antropogenní činnost a celkově společnost. V současnosti se zvyšuje životní standard, industrializace a celkově člověk významně ovlivňuje životní prostředí, což narušuje přirozený chod podnebí. Problematika klimatu je jedno z nejdiskutovanějších témat laické i odborné společnosti, zejména v souvislosti s globálními změnami klimatu (Červený et. al., 1984).

V souvislosti s problematikou atmosférických srážek je řešena také otázka omezení vnosu znečištění do recipientu, na kterou klade důraz zejména Směrnice evropského parlamentu a Rady č. 2000/60/ES na dosažení dobrého chemického a ekologického stavu vodního prostředí. Atmosférické srážky jsou silným zdrojem znečištění povrchových vod, zejména pak splachy z komunikací. Neméně důležitá je také otázka znečištění podpovrchových vod.

2 CHEMISMUS OVZDUŠÍ A ATMOSFÉRICKÝCH SRÁŽEK

Obor, věnující se zdroji chemických látek, se nazývá chemie životního prostředí. Sleduje reakce, pohyb, vzájemné působení a osud chemických látek v atmosféře, hydrosféře a litosféře, spolu s jejich působením na součásti životního prostředí (Braniš, Hůnová, 2009).

2.1 Polutanty v ovzduší

Jako polutanty jsou označovány škodlivé látky, které mají nežádoucí účinek na danou složku životního prostředí. Vznik polutantů je odvislý od antropogenní činnosti, kdy se do životního prostředí dostává v nežádoucím množství, avšak může vznikat i přirozeným způsobem v přírodě. Druhem polutantu je xenobiotikum, což je cizorodá látka, která nevzniká přírodní činností, ale pouze činností antropogenní. Xenobiotikum je také produkt jejich rozkladu, který do přírody zanesl člověk a to i přesto, že produkty vznikly přírodní cestou. Příkladem takového xenobiotika je DDT a jeho produkty rozkladu. Seznam nejdůležitějších polutantů zatěžujících životní prostředí, tzv. „prioritní polutanty“, vydala agentura pro ochranu životního prostředí (US EPA – United State Environmental Protection Agency). Seznam prioritních polutantů je rozdělen do následujících skupin chemických látek (Loučka, 2014):

- azbest,
- estery kyseliny ftalové,
- ethery,
- fenoly a kresoly,
- halogenované alifatické uhlovodíky,
- kovy,
- kyanidy,
- monocyklické aromatické uhlovodíky,
- nitrosaminy a další dusíkaté sloučeniny,
- PCB a 2-chlornaftalen,

- pesticidy a produkty jejich rozkladu,
- polycyklické aromatické uhlovodíky.

Kromě „prioritních polutantů“ se lze setkat s označením „persistentní organické polutanty“ (POPs – persistent organics pollutants). Jsou to velmi stabilní organické látky v životním prostředí, které jsou karcinogenní a jedovaté. Některé z nich jsou součástí seznamu prioritních polutantů.

2.1.1 Sloučeniny síry

Z pohledu znečištění atmosféry jsou stěžejní sloučeniny oxidu siřičitého SO_2 , v menší míře pak sulfanu H_2S . Oxid siřičitý vzniká při vulkanické činnosti, avšak nejčastěji je spojen s antropogenní činností, konkrétně spalováním uhlí. Odhaduje se, že množství síry, která se uvolní do atmosféry ve formě SO_2 je $0,7 - 1 \cdot 10^{14}$ g/rok. U člověka je hrozbou pro zdraví ve formě ohrožení horních cest dýchacích, dráždivostí očních spojivek, zvýšením únavy a může vyvolat také poruchy vývoje. V rostlinné sféře pak ovlivňuje transpirační procesy rostlin, převážně u jehličnanů, škodí buňkám s chlorofylem a snižuje asimilaci, čímž negativně ovlivňuje fotosyntézu (Loučka, 2014).

Další forma znečištění jsou síranové aerosoly. Vznikají postupnou oxidací SO_2 na SO_4 , který, zreaguje na H_2SO_4 a další reakcí s částicemi aerosolů v atmosféře. Aerosoly v atmosféře mohou být vápenaté, železnaté, případně sodné u moře. Atmosféra obsahuje amoniak, zejména přírodní, aerosoly obsahují i síran nebo hydrogensíran amonný. U znečištění hydrosféry převládají sírany a siřičitany, v důlních vodách také kyselina sírová. V odpadních vodách lze nalézt sirovodík ve formě iontů HS^- příp. S^{2-} . Sirovodík a ionty HS^- se vyskytují i ve vodách, kde dochází k mikrobiálnímu rozkladu organických látek obsahujících síru (Šimek, 2003).

2.1.2 Sloučeniny dusíku

Polutanty sloučenin dusíku patří mezi významné, které ovlivňují životní prostředí. Mezi toxické složky v hydrosféře se řadí zejména NH_3 resp. NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- . Velmi toxické jsou kyanidové anionty, avšak znečištění hydrosféry jejich vlivem vzniká víceméně pouze při haváriích. Pro člověka je amoniakální dusík nebezpečný pouze při vyšších koncentracích, ale působí toxicky na ryby, i při nízkých koncentracích. Vlivem mikroorganismů, které obsahuje trávicí soustava, se dusičnany mohou redukovat

na dusitany. Dusitany jsou toxikologicky velmi nebezpečné, jelikož přeměňují hemoglobin na methemoglobin (metHb), který není schopen dodat kyslík do tkání (Loučka, 2014).

Ohledně zdraví člověka se v atmosféře vyskytují oxidy dusíku (NO , NO_2), které zhoršují choroby srdce a dýchací soustavy a způsobují cyanózu. Jejich vznik je podmíněn antropogenní činností, zejména při spalování motorů a také spalováním fosilních paliv. Dále je v atmosféře přítomen oxid dusný, který je méně škodlivý. Jedná se o stabilní složku atmosféry, která vzniká jako odpadní produkt mikrobiální aktivity. V atmosféře je také přítomen amoniak, ale pouze v nepatrné koncentraci. Amoniak díky alkalickému charakteru reaguje velmi snadno s ostatními polutanty kyselé povahy (SO_2 , SO_3 , NO_2). Další znečištění atmosféry způsobují aerosoly dusičnanů. Vznik je podmíněn postupnou oxidací NO a NO_2 a reakcí s vodou na HNO_3 s následnou reakcí s aerosoly atmosféry. (Loučka, 2014).

2.1.3 Oxid uhelnatý

Důsledkem nedokonalého spalování vzniká a uniká do atmosféry oxid uhelnatý. V atmosféře se běžně vyskytuje v koncentraci asi 0,1 ppm. Přírodní vznik oxidu uhelnatého je podmíněn rozkladem chlorofylu a oxidací methanu. Díky dopravě však koncentrace v atmosféře vzrůstá až k hodnotám 50 - 100 ppm. Pro zdraví člověka je oxid uhelnatý nebezpečný zejména proto, že se váže na hemoglobin a vzniká karboxylhemoglobin (COHb). Ten podstatně snižuje transport kyslíku krví k orgánům a při obsahu 60 - 80 % nastane smrt (Malý, 2006).

2.1.4 Kovy

V periodické tabulce prvků je popsáno přes 80 kovů, z nichž 30 patří mezi kovy toxické. Další typy kovů mohou být těžké nebo stopové. Stopové kovy se vyskytují v životním prostředí nebo organismech ve velmi malých koncentracích v řádu několika ppm. Těžké kovy mají hustotu vyšší než 5 g/cm^3 (např. olovo, rtuť a kadmium). Toxické kovy při určitých koncentracích působí škodlivě na člověka a živé složky ekosystémů. Pro organismus jsou stopové kovy nezbytné. Jedná se např. o Co , Cu , Cr , Fe , Ni , Mn , Mo , Se , Sn a Zn , které jsou součástí enzymů. Při jejich přebytku či nedostatku může dojít k vážným onemocněním. Běžně tento typ kovů označujeme jako esenciální kovy, pro které

existuje optimální koncentrace v organismu. Je-li tato koncentrace překročena, stanou se kovy toxickými (Loučka, 2014).

V životním prostředí se kovy vyskytují ve své základní formě nebo ve sloučeninách. Může se je jednat o jednoduché anorganické sloučeniny, ionty kovů, komplexní a organokovové sloučeniny. V přírodě se kovy váží na povrch pevných minerálních i organických částic (Malý, 2006).

2.2 Fyzikální vlastnosti atmosférických srážek

Jedním z nejdůležitějších parametrů atmosférických srážek je stanovení pH. Vzhledem k obsahu různých chemických prvků je pH srážek závislé na koncentraci CO_2 a jeho iontů, spolu s dalšími složkami jako jsou oxidy dusíku a síry. Díky pH se ve srážkách určuje jejich acidita, tedy kyselost. Amoniakální dusík aciditu snižuje. Atmosférické srážky v ideálním, neznečištěném prostředí mají hodnotu pH od 5,5 - 6,0 (Pitter, 2009).

V závislosti na výši pH se mluví o kyselých deštích, avšak stanovení této hranice je problematické. V případě hodnoty pH 5,6 u neznečištěné vody v rovnováze s koncentrací CO_2 v atmosféře mluvíme o ideálním pH. Je-li pH nižší než 5,6, pak se jedná o kyselý déšť (Calvo et al. 2010). U srážkových vod je hranice pH 5,6 posunuta níže, jelikož pH 5,6 se přisuzuje destilované vodě, která je v rovnováze s nižší koncentrací CO_2 (Pitter, 2009).

Z pohledu České republiky je průměrné pH srážek v rozmezí 4,4 - 4,6 (Hruška, Kopáček, 2009).

Vodivost je převrácenou hodnotou elektrického odporu. Je závislá na ploše vodivostní elektrody, teplotě, množství jednotlivých iontů, jejich pohyblivosti apod. Určuje zasolení vod. Nejčastěji ji určují ionty Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , ionty železa, Na^+ , K^+ , H^+ , Mn^{2+} , CO_3^- a HCO_3^- . Limity pro pitnou vodu stanovuje vyhláška č. 252/2004 Sb., resp. č. 187/2005 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky (Horáková, 2000).

Vodivost (konduktivita) je přibližná míra koncentrace elektrolytů ve vodě, tedy iontově rozpuštěných látek, které voda potká v podloží a rozpustí, kromě plynů. Vyjadřuje nepřímě obsah minerálních látek, které se ve vodě nacházejí. Limit vodivosti pro pitnou vodu je 125 mS/m, což odpovídá obsahu rozpuštěných látek asi 1000 mg/l. Optimálně by však pitná voda měla obsahovat rozpuštěných látek méně, asi 200 - 400 mg/l

(asi 25 - 50 mS/m). Vody s mineralizací více než 1000 mg/l se považují za minerální. V závislosti na složení mohou mít nepříjemnou chuť nebo i způsobit průjemové onemocnění. Destilovaná voda má konduktivitu 0,05 mS/m až 0,3 mS/m. Povrchové a prosté podzemní vody 5 - 50 mS/m, některé průmyslové vody mohou mít hodnota vyšší než 103 mS/m. Průměrná vodivost pitných vod v České republice je přibližně 40 mS/m (Malý, 2006).

Chemické složení atmosférických srážek ukazuje znečištění ovzduší díky poskytnutí informací o emisních zdrojích. Ty popisují složení srážek, místní a regionální distribuci srážek a případné dopady na ekologii. Vlastní složení atmosférických srážek je zatíženo spolupůsobením více faktorů, v oblastech aglomerací zejména zvýšenou koncentrací NO_x a SO_2 .

2.3 Znečištění atmosféry

Znečištění atmosféry patří k jednomu z velmi vážných problémů současné společnosti, a to na celosvětové úrovni. Zhoršené ovzduší nemá za následek pouze zhoršené dýchání obyvatel, či vznik chorob plic, ale může vést také ke globálnímu oteplování, vlivem skleníkového efektu.

Lidskému zdraví a především životnímu prostředí znečištěné ovzduší škodí. Díky klesajícím emisím mnoha znečišťujících látek v několika desetiletích, došlo v Evropě k viditelnému zlepšení kvality ovzduší. I nadále jsou však koncentrace látek stále vysoké a problémy související s kvalitou ovzduší přetrvávají. Podstatná část evropského obyvatelstva žijícího ve velkých aglomeracích se stále potýká s problémy, které jsou způsobeny překračováním norem kvality ovzduší. Jedná se o znečištění ozonem, oxidem dusičitým a jemnými částicemi, které představují závažné zdravotní riziko. Z hlediska dopadu na lidské zdraví se v současné době považují za nejvýznamnější znečišťující látky oxid dusičitý, přízemní ozon a jemné částice v ovzduší. Dlouhodobé vystavení těmto látkám může mít za následek různé poškození lidského zdraví, od poškození dýchací soustavy až po předčasné úmrtí. Zdroje znečištění ovzduší jsou různé, ať už antropogenní nebo přírodní (Politiky Evropské Unie, 2017):

- Antropogenní: spalování fosilních paliv při výrobě elektřiny, v dopravě, průmyslu a v domácnostech, průmyslové procesy a používání rozpouštědel,

například v chemickém průmyslu a při zpracování nerostných surovin, zemědělství a zpracování odpadu.

- Přírodní: vulkanická činnost, šíření prachu větrem, solné výpary z moří a emise těkavých organických látek z rostlin.

Zabýváme-li se znečištěním ovzduší, pak nejčastěji hovoříme o rozptylových podmínkách. Jedná se o meteorologické podmínky pro rozptyl znečišťujících látek v ovzduší, které jsou závislé na proudění vzduchu ve dvou směrech - horizontálním a vertikálním. Základní klasifikace rozptylových podmínek je následující (ČHMÚ, 2017):

- Dobré – ve výšce do 1 - 1,5 km nad terénem neexistuje zádržná vrstva (inverzní, izotermická), která omezuje rozptyl škodlivin. U výškové zádržné vrstvy záleží také na rychlosti větru, který je pod její spodní hranicí.
- Mírně nepříznivé – zádržná vrstva se již vyskytuje a v závislosti na rychlosti větru omezuje rozptyl látek. Nedochází však k překročení limitů pro imise.
- Nepříznivé – rozptyl látek v atmosféře je víceméně nemožný a v oblasti zdroje znečištění se předpokládá významné překročení imisních limitů v delším časovém horizontu. Stav nastává v případě, kdy je silná zádržná vrstva ve výšce do 1 km nad terénem neumožňuje žádné, nebo pouze slabé proudění.

V souvislosti s rozptylovými podmínkami dále souvisí pojmy (ČHMÚ, 2017):

- Ventilační index – indikuje rozptylové podmínky. Je určen součinem výšky mezní vrstvy a průměrné rychlosti větru v této vrstvě. Rozptylové podmínky ovlivňují ředění a promíchání znečišťujících látek v ovzduší spolu s úrovní jejich koncentrace. Nelze je zaměnit s kvalitou ovzduší a jeho znečištěním. Při nepříznivých rozptylových podmínkách se nemusí nutně jednat o vysoké koncentrace imisí.
- Smogová situace – dochází k ní při překročení informativní prahové hodnoty určující znečišťující látky v ovzduší (jemné částice, přízemní ozon, oxidu siřičitý nebo dusičitý) za splnění požadovaných podmínek daných normou.

- Regulace – překročení regulační prahové hodnoty znečišťující látky v ovzduší za splnění požadovaných podmínek daných normou. Pro stanovené zdroje znečištění je stanovena povinnost regulovat množství emisí.
- Varování – překročení varovné prahové hodnoty přízemního ozonu za splnění požadovaných podmínek daných normou.

Jak již bylo zmíněno, znečištění atmosféry znamená přítomnost polutantů v atmosféře, kdy je třeba rozlišit pojmy emisí a imisí. Emise představují vnášení polutantů do životního prostředí, tedy děj (např. emise SO_2 produkované elektrárnou). Emise popisují zdroj znečištění ve formě množství za jednotku času. Imise pak představují stav životního prostředí v daném čase a místě, vyjádřené pomocí koncentrace.

Kromě výše uvedeného rozdělení znečištění atmosféry na znečištění přírodní a antropogenní lze rozdělit znečištění i podle řady jiných hledisek (Loučka, 2014):

- Doba působení zdroje znečištění atmosféry – okamžité (působí přechodnou dobu, potom znečišťování ustane) a znečišťování kontinuální (trvalé).
- Prostor zdroje znečištění atmosféry – bodové, lineární, plošné a mobilní.
- Rozsah znečištění atmosféry – lokální, z obytné aglomerace, z průmyslové aglomerace, celostátní, kontinentální a globální.

Znečišťování může být dále i primární nebo sekundární. Primární znečišťování je např. produkce SO_2 spalováním uhlí a jeho následná přeměna na SO_4 a H_2SO_4 způsobuje sekundární znečištění.

2.4 Znečištění hydrosféry

V životním prostředí, stejně jako uvnitř jeho jednotlivých složek, se pohybují všechny chemické látky. Základní složky životního prostředí jsou atmosféra, hydrosféra, litosféra a biosféra. Biochemický cyklus, který se zabývá koloběhem sloučenin má tři základní cykly – biochemický, hydrologický a geologický. Z kontextu práce je zřejmé, že stěžejním je pro následující text cyklus hydrologický, který sleduje jedinou chemickou sloučeninu – vodu. Voda a její vodní cyklus je specifický tím, že při pohybu mezi ostatními složkami životního prostředí je chemické složení neměnné, změna nastává pouze ve skupenství (Jeníček, Foltýn, 2010).

Voda je základ života na Zemi, přičemž povrch planety tvoří ze 70,1 % právě vodní plocha. Celková zásoba vody na Zemi je odhadnuta na 1,38 miliard km^3 . Jak je všeobecně známo, voda je nepostradatelná pro život člověka, rostlin i živočichů a je hlavním nástrojem, který umožňuje transport živin, tedy příjem i vylučování. Z pohledu antropogenního užívání vody se pak dělí přírodní a odpadní. Přírodní vody se dále rozlišují na podzemní (prostá a minerální), povrchovou (tekoucí, stojatá) a atmosférickou (Kleczeck, 2011).

Znečištění hydrosféry je rozsáhlé stejně jako atmosférické znečištění, a to jak z množství, tak z rozmanitosti polutantů. V hydrosféře se vyskytují hlavně makropolutanty, mezi nejznámější patří (Schwarzenbach, 2006; Moldan, 2009):

- Anorganický dusík – ročně proteče řekami 21 mil. tun dusíku, z toho 75 % je původem z lidské činnosti.
- Anorganický fosfor – ročně proteče řekami 5,6 mil. tun, 60 % vlivem lidí.
- Těžké kovy – ročně ve vodě 0,3 - 1 mil. tun vlivem lidské činnosti (zejména Ni, Pb, Hg, Zn, Cr, Cd).

Producenti ovlivňují znečištění hydrosféry zejména výrobou hnojiv (140 mil. tun ročně), pesticidů (5 mil. tun ročně) a syntetických organických chemikálií (300 mil. tun ročně). Také je třeba brát v potaz havárie, kde např. z ropných havárií v letech 1980 - 2000 vyteklo do vod průměrně 0,5 mil. tun ročně. Podle původu se dělí skupiny zdrojů znečištění na tři hlavní skupiny. Jedná se o rizikové skupiny, které mohou způsobit trvalé znečištění, konkrétně průmyslová výroba, zemědělská výroba a osídlení (Loučka, 2014):

- Průmysl – stěžejní polutanty jsou ropa a produkty ropy, detergenty, radioaktivní látky a obecně anorganické i organické látky.
- Zemědělství – umělá hnojiva, pesticidy a odpady z výroby.
- Osídlení – odpady, skládky a odpadní vody.

2.5 Atmosférické vody

Atmosférická voda se vyskytuje ve skupenství plynném, kapalném i pevném. V plynném skupenství se vykytuje jako vodní pára neboli vzdušná vlhkost.

Kapalné a pevné skupenství je pak přítomno ve formě kapek a pevných částic tvořících oblaka. Rozlišujeme srážky kapalné (déšť – vertikální srážky, mlha a rosa – horizontální srážky) a tuhé srážky (kroupy, sníh – vertikální, námraza – horizontální)-(Kleczeck, 2011).

Jak uvádí Loučka (2014) podle stupně znečištění atmosféry se rozlišují nečistoty ve srážkových vodách. Atmosférická voda je jednou z nejčistších přírodních vod, je však také znečišťována a to při vzniku oblak a při průchodu atmosférou. V atmosféře dochází vlivem dešťových a sněhových srážek k vymývání aerosolů a plyných imisí. Obsah rozpuštěných látek se pohybuje v rozmezí 10 - 100 mg/dm³. V dosahu městských aglomerací je koncentrace rozpuštěných látek vyšší. Atmosférická voda tak obsahuje nejčastěji netoxické ionty K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, rozpuštěné plyny (SO₂, SO₃, NO_x, H₂S) a v některých případech také ionty těžkých kovů, organické sloučeniny, mikroorganismy, spory rostlin apod.

2.5.1 Atmosférické srážky

Jak již bylo v textu výše zmíněno, srážky představují soustavu vodních částic, která vzniká kondenzací či sublimací vodní páry v ovzduší ve stavu kapalném (déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení) nebo tuhém (sněžení, kroupy, zmrzlý déšť, ledové jehličky apod.). Srážky mohou být padající nebo vznášející, případně zdvižené větrem z povrchu. Zahrnují se sem také srážky usazené na zemi a ve volné atmosféře (rosa, ledovka apod.).

Množství horizontálních srážek (jinovatka, námraza apod.) je v porovnání s množstvím na zem vpadlých vertikálních srážek za období hydrologického roku zpravidla malé. Hrají však významnou roli v zemědělství, neboť jsou schopny pokrýt minimální potřebu vody pro zachování života rostlin v období, kdy je vertikálních srážek nedostatek. V posledních letech je zaznamenán nepříznivý vývoj zvyšování četnosti výskytu dešťových srážek s vysokým úhrnem a vysokou průměrnou intenzitou deště, které se téměř okamžitě transformují na rychlou složku povrchového odtoku (Hlavínek, Mičín a Prax, 2001).

Dle doby trvání padajících srážek rozlišujeme (ČHMÚ, 2017):

- Trvalé – delší doba výskytu se stálou intenzitou velkoplošných srážek (sníh, déšť apod.).
- Občasné – opakovaný výskyt srážek s přestávkami mezi nimi. Přestávky se pohybují v řádu hodin. Jedná se o srážky velkoplošné a přeháňky.
- Přeháňky – srážky s krátkým trváním v řádu minut s kolísavou intenzitou. Běžným jevem je vyjasnění mezi jednotlivými přeháňkami.
- Četné – charakterizuje přeháňky, které se opakují v krátkých intervalech (desítky minut).

Pro sledování srážek a srážkových úhrnů je také důležitá intenzita deště, která se udává v mm/hod a dělí se do pěti kategorií (Tabulka 1).

Tabulka 1: Intenzita deště

Intenzita	Déšť (mm/hod.)
Velmi slabá	neměřitelné množství
Slabá	0,1 – 2,5 mm
Mírná	2,6 – 8,0 mm
Silná	8,1 – 40,0 mm
Velmi silná	> 40,0 mm

Zdroj: ČHMÚ, 2017.

Dešťová voda není chemicky čistá. Obsahuje kromě pevné nebo rozpuštěné látky, která představovala kondenzační jádro, ještě pohlcený kyslík, dusík, oxid uhličitý, amoniak, oxidy dusíku, bakterie a jiné nečistoty, se kterými se vodní kapky setkaly v atmosféře a ve vzduchu. Existují také zvláštní, barevné deště, které jsou nápadně zabarveny dle přímísenin. Červené deště (krvavé) obsahují velké množství červeně zbarvených pískových zrn či červené řasy. Ve střední Evropě je déšť zbarven vlivem písku

z Afriky. Žlutý déšť je způsoben přítomností drobných pylových zrněk v ovzduší, zejména jehličnanů, konkrétně smrků a borovic. Sytě zbarvený žlutý déšť se vyskytuje v 4 - 5 letých periodách. Teplota dešťových kapek je o 3 - 5 °C nižší než teplota okolního vzduchu (Králová, Zvěřina, 2002).

2.5.2 Atmosférická depozice

Atmosférická depozice je definována jako tok nebo přenos látek z atmosféry na zemský povrch. Je vyjádřena hmotností přenesené látky na plochy za čas (např. g/m rok). Atmosférická depozice představuje proces čištění atmosféry, kdy dochází k dynamické rovnováze mezi depozicí látek a emisemi. Rozlišujeme mokrou a suchou depozici. Mokrú depozice je spojena s atmosférickými srážkami, a to jak vertikálními, tak horizontálními. Srážky odstraňují z atmosféry množství aerosolů a plyných látek, jedná se o vymývání atmosféry. Mokrú depozice je epizodický děj. Suchá depozice označuje odstraňování pevných a plyných látek z atmosféry, je pomalejší než mokrú depozice, ale probíhá kontinuálně, tedy stále (Braniš, Hůnová, 2009).

3 ODVOD A VYUŽITÍ SRÁŽEK

Srážkové vody rozdělujeme na tři skupiny:

- přípustné,
- podmíněčně přípustné,
- nepřípustné (Hlavínek, Mičín a Prax, 2011).

U vsaku do kanalizace, povrchu země, či povrchů v městských aglomeracích je třeba znát také kvalitu a znečištění srážkových vod. Jedná se zejména o zamezení kontaminace životního prostředí (Hlavínek, Mičín a Prax, 2011).

Srážkové vody povrchové vody přípustné a podmíněčně přípustné jsou přesně charakterizovány v ČSN 75 9010 – Vsakovací zařízení srážkových vod. Norma popisuje rozsah a způsoby provádění geologického průzkumu pro vsakování srážkových povrchových vod a stanovuje pro ně omezující podmínky. Také v ní lze nalézt základní přehled současných používaných povrchových a podzemních vsakovacích zařízení. Vzhledem k tomu, že se jedná o technickou normu, jsou v ní uvedeny postupy a příklady výpočtů retenčních objemů vsakovacích zařízení, stanovení míry bezpečnosti proti přeplnění a přetékání srážkových vod na povrch. Součástí normy jsou také aktualizované tabulky návrhových úhrnů srážek v České republice.

Srážkové povrchové vody přípustné – povrchový odtok ze zelených ploch, luk a kulturní krajiny s možným odtokem srážkových vod do odvodňovacích systémů, střech z inertních materiálů, teras v obytných částech a jim podobných ploch, komunikací pro pěší a cyklisty a málo frekventovaných komunikací (např. příjezd k domu) a parkovišť pro motorová vozidla do 3,5 t (ČSN 75 9010, 2012).

Srážkové povrchové vody podmíněčně přípustné – povrchový odtok ze střech z neošetřených kovů (např. měď, zinek), veřejných pozemních komunikací pro motorová vozidla, frekventovaných parkovišť osobních aut a autobusů (motorových vozidel do 3,5 t a autobusů), letištních ploch pro startování a přistávání letadel a komunikací průmyslových a zemědělských areálů (ČSN 75 9010, 2012).

Srážkové povrchové vody nepřípustné – povrchový odtok z výrazně znečištěných ploch (parkoviště nákladních aut, opravny vozidel, letištní plochy, kde je prováděna zimní

údržba letadel, šrotiště, uskladnění aut, hospodaření s odpady a manipulace s lehkými kapalinami (ČSN 75 9010, 2012).

Hlavní kritéria pro rozdělení srážkových vod a určení vhodného zařízení k vsaku je velikost plochy a jakým způsobem se plocha využívá. V případě znečištění, které překračuje požadavky, je navrženo předčištění a následně vsakování. Pro předčištění srážkových vod je zvolen vhodný způsob, případně kombinace několika možností. Mezi možnostmi jsou například: vegetační vrstva, česle, sedimentace, filtry, lapače (Nehasil, 2012).

Hospodaření s dešťovou vodou se ukazuje jako ekologická nutnost. Od roku 2009 je sice v platnosti legislativa ohledně upřednostňování vsaku před vypouštěním do kanalizace, ale problém srážkové vody je stále aktuální. Tradiční způsoby likvidace srážkových vod mají malou kapacitu a ovlivňují negativně životní prostředí. Mezi hlavní důvody pro likvidaci srážkové vody v místě spadu patří to, že růst aglomerací a rozšiřující se urbanizace způsobuje, že kapacita dešťové kanalizace a odtoku je nedostatečná, což může vést k pravidelnému vyplavování měst a sídel srážkovou kanalizací. Nepřímo tento fakt také způsobuje povodně, jejich sílu a četnost, jelikož do kanalizace je odváděn stále větší objem vody (Kopačková, 2014).

Ke stabilitě klimatu významně přispívá voda, která je schopna se do krajiny vrátit. Jedním z hlavních cílů urbanizace je tedy posílení vodních zásob což zvýší i kvalitu životního prostředí. Výpar vody eliminuje teplotní extrémů v jak z časového tak prostorového hlediska. Odpařující voda ve dne krajinu výrazně ochladí. Měrné skupenské teplo vypařování vody, které je v normálních podmínkách 2243,7 kJ/kg, se následně uvolní v noci. Vodní pára je schopna se distribuovat v horizontálním i vertikálním směru z teplejších do chladnějších míst, kde následně kondenzuje a uvolňuje teplo. Ovlivňuje tak značně míru výskytu vichřic a jiných extrémních jevů, pro které jsou důležité rozdílné teploty v prostředí (Kravčík et.al., 2007).

Voda, která je odváděna kanalizací, ať už srážková nebo povrchová, se nedokáže vrátit zpět do malého vodního cyklu. Malým vodním cyklem rozumíme uzavřený koloběh, kdy vypařená voda z pevniny spadne na zem ve formě atmosférických srážek na stejnou pevninu. Při zvyšování odtoku z povodí následně ubývá odpařené vody z území a její návrat do malého vodního cyklu. Ovlivňuje se tak celkové množství atmosférických srážek

a dochází k narušení tepelného a vodního režimu krajiny. Destrukce malého vodního cyklu je způsobena odvodem srážkové vody kanalizací do řek a pryč z území. Dochází k ovlivnění atmosféry nad územím, nastávají dlouhá období sucha s nedostatkem srážek, které střídají prudké přívalové deště (z velkého vodního cyklu – voda z oceánu). Na životní prostředí to má za následek poškození rostlin, dochází k erozi půdy a klesá hladina spodní vody, což vede k destabilizaci klimatu a roste riziko povodní (Kopačková, 2014).

3.1 Dešťové odpadní vody

Dešťovými vodami se označují srážkové vody, odváděné ze střech, komunikací, parkovišť atd., většinou do společné nebo oddílné dešťové kanalizace. Znečištění dešťových vod tvoří široké spektrum různých látek původu:

- Anorganického v nerozpuštěné a rozpuštěné formě – těžké kovy, aniony silných minerálních kyselin, sloučeniny dusíku, fosforu a další.
- Organického v nerozpuštěné a rozpuštěné formě. Organické látky jsou zastoupeny především ropnými látkami, chlorovanými uhlovodíky, PCB, PAU, dioxiny, pesticidy atd. Mikrobiální složku znečištění tvoří zejména fekální koliformní bakterie, enterokony a další.

Znečištění dešťových vod pochází z různých zdrojů. Jejich přehled, včetně hlavních složek znečištění je uveden níže v tabulce (Tabulka 2).

Tabulka 2: Zdroje znečištění dešťových vod

Zdroj znečištění	Znečišťující látky
Výfukové plyny	Pb, Ni, sloučeniny N, fenoly, uhlovodíky, PCDD, PCDF, rez, částice
Otěr brzdových obložení	Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, částice
Otěr pneumatik	Cd, Zn, rez, organické sloučeniny, pryž, S, Pb, Cr, Cu, Ni
Otěr povrchu komunikací	Si, Ca, Mg, asphalt, dehet, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, částice
Otěr značení komunikací	TiO ₂ , rozpouštědla

Zdroj znečištění	Znečišťující látky
Úkapy z motorů	Pb, Ni, Zn, organické látky, oleje, tuky, uhlovodíky, Cu, V, Cr
Koroze, obrus	Al, Cu, Fe, Co, Mn, Cd, Zn
Stavební hmoty	minerální látky, pojiva (asfalt, vápno, cement), alternativní stavební hmoty

Zdroj: Hlavinek, Mičín a Prax, 2011

Nákladní a osobní doprava srážkové vody zatěžuje látkami PAU a nitrofenoly. Obě skupiny látek jsou toxické, karcinogenní a stabilní ve vodě i v půdě.

3.1.1 Anorganické látky

Do dešťových vod se dostávají nerozpuštěné látky (< 1 nm) buď přímo z atmosféry, nebo splachem z povrchu komunikací apod. Dešťová voda odváděná ze střech je znečištěna různými částicemi, v nichž jsou z velké části zastoupeny těžké kovy. Rozpuštěné látky (> 1 nm) se do srážkových vod dostávají ve formě kovů, chloridů a síranů a sloučenin dusíku a fosforu. Zastoupení kovů je závislé zejména na materiálu střech. Chloridy a sírany v dešťové vodě jsou závislé na ročním období, kdy v zimě jejich přítomnost výrazně ovlivňuje posypová sůl. Průměrné hodnoty obsahu anorganických látek v dešťové vodě ze střech uvádí tabulka (Tabulka 3) a těžkých kovů tabulka (Tabulka 4).

Tabulka 3: Průměrné obsahy anorganických látek

Druh dešťové vody	Voda ze střech		
Kovy			
Ag (µg/l)	< 11	Al (µg/l)	1340
Co (µg/l)	< 11	Ca (mg/l)	13
Cr (µg/l)	< 13	K (mg/l)	3,5
Fe (µg/l)	2000	Mg (mg/l)	1,2

Druh dešťové vody	Voda ze střech		
Kovy			
Hg (µg/l)	< 1	Na (mg/l)	6190
Mn (µg/l)	90	B (mg/l)	0,29
V (µg/l)	< 10		

Zdroj: Hlavínek, Mičín a Prax, 2001.

Tabulka 4: průměrné obsahy těžkých kovů

Těžké kovy		
<i>Zdroj:</i>	<i>Horáková, 2000.</i>	<i>Krejčí, 1994.</i>
Pb (µg/l)	104	85
Cd (µg/l)	1	0,61
Zn (µg/l)	23	5589
Cu (µg/l)	35	446
Jednotlivé formy dusíku		
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	N-NO ₂ ⁻ (mg/l)
4	0,2	0,3

Zdroj: Horáková, 2000; Krejčí, 1994.

3.1.2 Organické látky

Průměrné znečištění srážkových vod rozpuštěnými organickými látkami je dle Horákové (2000) pro CHSK_{Cr} 22 mg/l a pro C_{org} 8 mg/l. Krejčí (1994) udává průměrnou hodnotu pro CHSK_{Cr} 70 mg/l. Dále se pak znečištění týká dioxinů, které vznikají při spalování pohonných hmot. Množství emisí z dioxinů však výrazně v současnosti klesá. Jejich dalším zdrojem jsou pak požáry a havárie. Obsah ropných látek,

konkrétně nepolárních extrahovatelných látek (NEL) je v dešťových vodách kolem desetin mg/l. až mg/l. Podobné vlastnosti jako ropné látky mají chlorované uhlovodíky, které v roce 1990 byly v rozmezí 14 - 139 µg/l. Polyaromatické uhlovodíky (PAU) jsou v dešťových vodách součástí nerozpuštěných látek a vznikají při spalování hmot v motorech (Hlavinec, Mičín a Prax, 2001).

3.2 Nejčastější způsoby nakládání se srážkovou vodou

Ekonomicky motivovaný důvod nedostatečných kanalizačních kapacit zapříčinil, že likvidace srážkových vod v místě spadu byla zahrnuta do legislativy. Vyhlášky č. 268/2009 Sb. a č. 269/2009 Sb. upřednostňují vsakování srážkových odpadních vod, jejich zadržování nebo regulovaný odtok.

Jak již bylo zmíněno výše, nestabilita klimatu způsobuje spoustu škod, jak na přírodním, tak urbanizovaném území. V přírodním prostředí dochází k snížení úrodnosti díky dlouhodobému suchu, zvyšuje se eroze půdy apod. V urbanizovaném prostředí pak škody způsobují zejména povodně a vichřice, které ničí lidská obydlí. Nakládání s atmosférickými srážkami, spadlými na zem je tedy velmi důležitým aspektem z hlediska hospodaření s touto vodou. V koncepcích vyhlášek je tedy zakomponováno i to, aby byl umožněn maximální odpar spadlých atmosférických srážek, zejména pak odpar do ovzduší. Nelze-li zajistit zpětný odpar, pak lze srážky zasakovat nebo využívat v urbanizovaném prostředí, vypouštění do kanalizace a akumulace se škrceným odtokem je posledním řešením (Kopačková, 2014).

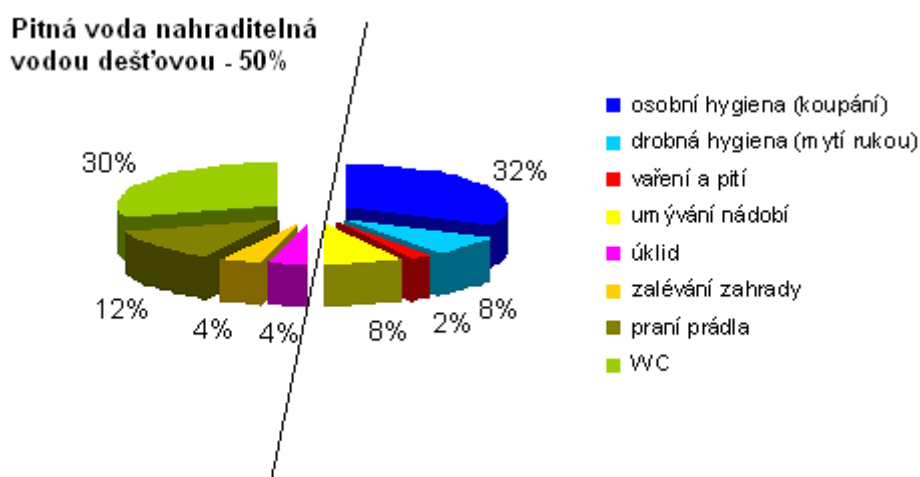
Vzhledem k zaměření práce se zaměříme na jednotlivé způsoby nakládání se srážkovou vodou s ohledem na zatížení životního prostředí a případného návratu zpět do hydrologického cyklu, který ovlivňuje i atmosférické znečištění.

Odvádění dešťovou kanalizací – tradiční způsob, který je znám již od doby 2 600 let př. n. l. Primární cíl je zajištění suchých a teplých obydlí. Veškerá voda je odváděna kanalizací a dále upravována na čistírnách odpadních vod.

Akumulace a škrcený odtok – mezi svod a přípojku je instalována akumulační nádrž, pro zachycení okamžitých srážek. Dochází ke krátkodobému zadržení dešťové vody na místě spadu, avšak nejedná se o variantu, která by řešila narušení malého vodního

cyklu. Srážková voda se později kanalizací dostane do vodního toku, bez možnosti návratu do ovzduší.

Akumulace pro využití v domácnosti – možnost využívat srážkovou vodu vychází z faktu, že je nutné ji zadržovat na pozemku. Lze využít k nenáročným činnostem jako je např. splachování WC, aniž by byla odebírána pitná voda. I dle přísných hygienických požadavků na používání pitné vody by bylo možné nahradit ji přibližně z 50 % vodou užitkovou (Obrázek 1). Z hlediska hodnocení hospodaření s dešťovou vodou je zpětné využívání dešťové vody dobré. Stabilita klimatu a vodního cyklu se projevuje v nižším odběru pitné vody. Šetření podzemní vody je velmi přínosné, ale do atmosféry se vrací pouze z minimální části (Dvořáková, 2007).



Obrázek 1: Rozdělení potřeby vody dle činností na pitnou a využitelnou srážkovou

Zdroj: Dvořáková, 2007

Vsakování – forma vsaku může být podzemní nebo nadzemní. Jedná se o vhodné řešení s ohledem na stabilitu klimatu a malého vodního cyklu. Vsakem srážkové vody je obohacena podzemní voda v místě spadu a pozitivně ovlivněna místní vegetace. Část srážkové vody se vrací do vodního cyklu a napomáhá stabilitě místního klimatu. Část srážkové vody odtéká přirozenými podzemními toky. Lze říci, že vsakování simuluje přirozenou vodní bilanci v neobydlené krajině, tedy dochází k odpařování části srážkové vody a dotaci podzemních a povrchových vod (Nehasil, 2012).

Odpařování z volné hladiny – likvidace dešťové vody, s předpokladem dostatečně velké plochy pro vytvoření nádrže či jezírka v urbanizovaných částech. Srážková voda se odpařuje do okolí z hladiny nebo z listů rostlin, které mohou v nádrži růst. Pokud jde o hodnocení hospodaření s dešťovou vodou, pak nedochází k přetěžování kanalizace, ani k ohrožení vodního toku srážkovou vodou. Z hlediska stabilizace mikroklimatu je odpařování z hladiny rovněž vhodným řešením. Všechna voda, která se z hladiny odpaří, se vrací do ovzduší. Nevýhodou je pomalé odpařování, část srážkové vody se tedy likviduje jiným způsobem.

Odpařování z vegetační střechy – tento způsob má na problematiku dešťové vody zásadní vliv, konstrukčně však není běžný. Voda, která se odpaří ze střechy zpět do ovzduší, vyhovuje v plné míře všem kritériím, která jsou řešena při spadu srážek. Neodtéká do kanalizace, nepřetěžuje vodní tok, účastní se v ovzduší regulace mikroklimatu a vrací se do malého vodního cyklu (Kopačková, 2014).

3.3 Možnosti využití srážkových vod

Dešťová voda při průchodu zemskou atmosférou vykazuje hodnotu přibližně 5,6 pH. Zachycovaná dešťová voda je znečišťována trojím způsobem:

- rozpuštěné a nerozpuštěné látky v atmosférických srážkách,
- znečištění, které se během bezdeštného období nahromadí na povrchu území a je za deště odváděno s dešťovou vodou,
- znečištění, vzniklé při kontaktu dešťové vody s materiály na povrchu území.

Celkové znečištění ve srážkovém odtoku se stanovuje podle délky trvání bezsrážkového období, intenzity srážek a objemu srážkového odtoku. Kvalita vody je závislá i na to, přes jaký povrch protéká či stéká. Počasí ovlivňuje uvolňování částic z krytin střech, stékání materiálu z budov, zanášení pesticidů z náletů, trusu ptáků apod. Při využití dešťových odpadních vod nesmí dojít z hlediska jejich složení k ohrožení zdraví uživatele, k ohrožení kvality pitné vody, k omezení komfortu užívání vody a ke znečištění životního prostředí (Svatošová, 2007).

Požadavky na složení dešťové vody ze střech uvádí tabulka (Tabulka 5).

Tabulka 5: Požadavky na složení dešťové vody ze střech

Druh znečištění	Požadavky na složení srážkové vody			
	Závlahy	Úklid	WC	Praní prádla
Nerozpuštěné látky	Inertní - neškodné	Při vyšších koncentracích nevhodné	Zpravidla bez významu	Zpravidla nutná úprava (filtrace)
Organické látky	Inertní a lehce odbouratelné - neškodné	Zpravidla bez významu		V obvyklých koncentracích bez významu
Těžké kovy	Nebezpečí akumulace v půdní vrstvě			
Pesticidy	Ohrožení rostlin a půdních org.			
Mikroorganismy	Zpravidla bez významného vlivu		Zpravidla bez významného vlivu	
Barva				Nebezpečí obarvení
Zápach		Zpravidla bez významu	Zpravidla bez významu	
Agresivita vody			Podle složení vody a typu pračky	
Celkové posouzení	Srážková voda je často vhodnější než pitná	Použití zpravidla bez omezení	Použití zpravidla bez omezení	V případě nadbytku srážkové a v kombinaci s pitnou pro poslední fázi pracího procesu

Zdroj: Svatošová, 2007.

4 POPIS SLEDOVANÉ LOKALITY A ODBĚR VZORKŮ

Pro potřeby diplomové práce byly vybrány dvě lokality, kde byly sledovány vybrané charakteristiky atmosférických srážek. Konkrétně byly zvoleny Olomoucký a Moravskoslezský kraj. Dále se kapitola zabývá popisem postupu odběru vzorků.

4.1 Olomoucký kraj

Olomoucký kraj svojí rozlohou spadá do oblasti střední části Moravy a části jejího severního okraje. Z územně - správního hlediska spadá do regionu soudržnosti Střední Morava (NUTS 2) spolu se Zlínským krajem. Kraj má celkem pět okresů, kterými jsou Olomouc, Prostějov, Přerov, Šumperk a Jeseník. Olomoucký kraj je rozdělen na 13 správních obvodů obcí s rozšířenou působností a 20 správních obvodů obcí s pověřeným obecním úřadem.

Geograficky lze kraj rozdělit na dvě části. Severní část je hornatá, s nejvyšší horou Praděd (1491 m n. m.) v Jeseníkách, jižní část tvoří rovinatá Haná. Celým územím protéká řeka Morava, s nejnižším bodem v Kojetíně na kótě 190 m n. m. Z přírodních zajímavostí se nejvíce navštěvují Chráněná krajinná oblast Jeseníky s nejrozsáhlejší moravským rašeliništěm Rejvíz, s Vysokým vodopádem (45 m) a vodní nádrží s elektrárnou Dlouhé Stráně na vrcholu kopce. Neméně zajímavou oblastí jsou lužní lesy v CHKO Litovelské Pomoraví s mnoha ohroženými druhy rostlin i živočichů. V Olomouckém kraji leží i řada jeskyní – Javoříčské, Mladečské a Zbrašovské aragonitové jeskyně (ČSÚ, 2017).

Makroklimatická regionalizace kraje patří do všech klimatických oblastí, tj. teplé, mírně teplé i chladné. Přejít mezi jednotlivými podoblastmi je vcelku plynulý, podmíněný měnící se nadmořskou výškou. Nejteplejší a současně nejsušší oblastí je část náležící k Hornomoravskému úvalu. Naopak nejchladnější a nejvlhčí jsou nejvýše položené plochy západního svahu Nízkého Jeseníku. Klima se vyznačuje dlouhým, teplým a suchým létem s velmi krátkým přechodným obdobím s teplým až mírně teplým jarem i podzimem, krátkou mírně teplou, suchou až velmi suchou zimou s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky. Výjimkou není ani klima s velmi krátkým až krátkým létem mírně chladným a vlhkým dlouhým přechodným obdobím s mírně chladným jarem a mírným

podzimem, dlouhou zimou, mírně vlhkou s dlouhým trváním sněhové pokrývky (Střední Morava, 2017).

Následuje charakteristika kraje z pohledu počasí v roce 2016 dle statistik Českého hydrometeorologického ústavu.

Průměrná roční teplota vzduchu v kraji byla 8,6 °C, což je o 1,2 °C více než krajový teplotní normál. Rok byl hodnocen jako velmi teplý (teplotně silně nadnormální). Nejteplejším měsícem roku v kraji byl červenec s průměrnou teplotou vzduchu 18,6 °C a nejchladnějším leden s průměrnou teplotou vzduchu 2,3 °C. (ČHMÚ (b), 2017).

Roční úhrn srážek měl v kraji průměrnou hodnotu 693,1 mm, což je 95 % ročního krajového srážkového normálu. Rok 2016 byl srážkově charakterizován jako normální. Nejdeštivějším měsícem roku v kraji byl červenec s průměrným úhrnem 122,0 mm (136 % normálu) a nejsušším měsícem byl prosinec s 24,5 mm (47 % srážkového normálu). Nejvyšší procentní kladnou odchylku srážek od normálu měl únor (+115 %) a nejnižší již uvedený prosinec a září (-53 %). Na stanicích byl nejvyšší měsíční srážkový úhrn naměřen v červenci v Lipníku nad Bečvou (244,5 mm), druhá nejvyšší hodnota byla zaznamenána v říjnu v Jeseníku (203,3 mm) a na Šeráku (199,2 mm). Nejnižší měsíční úhrn byl naměřen v prosinci v Prostějově (3,7 mm), v Kojetíně (4,3 mm) a v Kralicích na Hané (4,8 mm). Nejvyšší denní srážkový úhrn byl v kraji zaznamenán dne 31. července v Lipníku nad Bečvou (97,1 mm) a dne 28. května v Protivanově (89,3 mm) a ve Velkých Losínách (87,3 mm). Nejvíce dnů s výskytem srážek bylo zaznamenáno na stanicích Paprsek (225 dnů), Šerák (222 dny) a Bělá pod Pradědem (220 dnů). Nejméně srážkových dnů měly Kralice na Hané (112 dnů), Plumlov (117 dnů) a Hranice, Oskava a Střítež nad Ludinou (121 dnů). (ČHMÚ (b), 2017).

V kraji svítalo Slunce průměrně 1567 hod. (98 % normálu). V kraji bylo zaznamenáno 13 tropických dnů v Olomouci, 11 dnů v Dubicku a 10 dnů v Javorníku, Pasece, Šumperku a Přerově. V kraji byl zaznamenán 1 den s tropickou nocí, a to v Protivanově, Olomouci, Luké, Šternberku a ve Zlatých Horách. Nejvyšší minimální teplota vzduchu byla zaznamenána dne 25. června v Protivanově a Olomouci (20,5 °C). (ČHMÚ (b), 2017).

4.2 Moravskoslezský kraj

Moravskoslezský kraj se nachází v nejvýchodnější části České republiky. Pokud se kraj vnímá nadregionálně, pak je jeho poloha na hranici tří států téměř ve středu evropského prostoru velice výhodná. Moravskoslezský kraj vznikl současně s ostatními 13 českými kraji 1. ledna 2001 na základě legislativy přijaté v roce 2000. Po jediné územní změně v roce 2005 má region rozlohu 5427 km² a skládá se z celkem 6 dřívějších okresů (od západu Bruntál, Opava, Nový Jičín, Ostrava-město, Karviná a Frýdek-Místek) a území 22 obcí s rozšířenou působností. V kraji se nachází celkem 300 obcí, z toho 5 statutárních měst, 35 měst a 3 městyse (Moravskoslezský region, 2016).

V kraji se nachází několik chráněných území. Jedná se o CHKO Beskydy, Jeseníky a Poodří. Díky přírodním podmínkám a poloze regionu je velmi oblíbeným turistickým místem, ať už v zimním či letním období. Díky zvýšenému turistickému ruchu a ekonomickým aktivitám s ním souvisejícím, se jinak poměrně chudý kraj vyrovnává s vysokou nezaměstnaností. Oblasti, které jsou na cestovním ruchu závislé velmi dobře, prosperují a v oblasti vznikají stále nové a nové hotely a penziony, které nabízejí mnoho nejruznějších aktivit (Koblížková, Kratina, 2014).

Moravskoslezský kraj svou rozlohou zaujímá 6,9 % území celé České republiky a řadí se tak na 6. místo mezi všemi kraji. Více než polovinu území kraje zaujímá zemědělská půda, na dalších více než 35 % se rozprostírají lesní pozemky (především v horských oblastech Jeseníků a Beskyd). Vedle přírodního bohatství se v kraji vyskytují bohaté zásoby nerostných surovin – zásoby černého uhlí, ložiska zemního plynu a surovin jako jsou vápenec, žula, mramor, břidlice, sádrovec, štěrkopísky, písky a cihlářské jíly (ČSÚ, 2016).

Podnebí Moravskoslezského kraje je mírné s typickým střídáním čtyř ročních období. Roční průměrná teplota se pohybuje od 9,4 °C do 4,4 °C v závislosti na nadmořské výšce. Letní teploty se pohybují kolem 20 °C (letní teploty mohou dosahovat až tropických teplot nad 30 °C). Průměrné zimní teploty se pohybují kolem 0 °C (zimní teploty často klesají pod -10 °C). První sněhová pokrývka se v horách objevuje již v říjnu, v nížinách na přelomu listopadu a prosince. V nejvyšších polohách Jeseníků sněhová pokrývka přetrvává až do května. Roční úhrn srážek činí 650 - 1500 mm. Lysá hora v Beskydech je nejdeštivějším místem v ČR. Nejteplejším měsícem bývá červenec.

Následuje charakteristika kraje z pohledu počasí v roce 2016 dle statistik Českého hydrometeorologického ústavu.

Průměrná roční teplota vzduchu v kraji byla 8,4 °C, což je o 1,4 °C více než krajový teplotní normál. Rok 2016 byl hodnocen jako velmi teplý (teplotně silně nadnormální). Nejteplejším měsícem roku v kraji byl červenec s průměrnou teplotou vzduchu 18,3 °C a nejméně chladným leden s průměrnou teplotou -2,2 °C. Nejvyšší kladná teplotní odchylka od normálu byla zjištěna v únoru (+4,8 °C) a nejvyšší záporná v říjnu (-1,1 °C). (ČHMÚ (b), 2017).

Roční úhrn srážek byl v kraji průměrně 839 mm, což je 103 % ročního krajového srážkového normálu. Podle hodnocení „normality“ byl rok 2016 charakterizován jako srážkově normální. Nejdeštivějším měsícem roku v kraji byl červenec s průměrným úhrnem 153 mm (146 % normálu) a nejsušším měsícem byl prosinec s 27 mm (53 % normálu). Nejvyšší procentní kladnou odchylku srážek od normálu měl říjen (+117 %) a nejnižší prosinec (-47 %). Nejvíce dnů s výskytem srážek bylo zaznamenáno na stanicích Karlovice (220 dnů), Lučina (219 dnů) a Lysá hora (211 dnů). Nejméně srážkových dnů měl Nýdek (106 dnů), Dlouhá Stráň (111 dnů) a Rýmařov-Harachov (124 dnů). (ČHMÚ (b), 2017).

V kraji svítilo Slunce průměrně 1 554 hodin (92 % normálu). Nejvyšší denní úhrn slunečního svitu byl změřen 18. června v Lučině, kdy Slunce svítilo 15,5 hod., dne 23. června v Krnově (15,3 hod.) a na Červené (15,2 hod.). V kraji bylo zaznamenáno 10 tropických dnů v Karvině a Ostravě-Porubě, 9 dnů v Osoblaze, 8 dnů v Bohumíně, Mošnově a Opavě a 2 dny s tropickou nocí (kdy minimální teplota vzduchu v noci neklesla pod 20 °C). Nejvyšší minimální teplota vzduchu byla zaznamenána dne 25. června v Karvině (22,5 °C). (ČHMÚ (b), 2017).

4.3 Odběr vzorků

Kromě vyhodnocení kvality srážkových vod z dat získaných z databáze ČHMÚ, byly provedeny odběry vzorků srážkových vod na vybraných lokalitách Moravskoslezského a Olomouckého kraje.

Srážková voda byla svedena okapovým systémem (pozink) ze střešních prostor s povrchovou úpravou FATRAFOL ze dvou rodinných domů do plastových akumulčních

nádob. U tohoto materiálu střechy se předpokládá malý nebo mírný vliv na jakost vod. Např. u betonových střech může docházet k neutralizaci kyselých srážkových vod, kovové materiály mohou být zdrojem znečištění těžkými kovy (Hlavínek, 2007).

Vzorky vody byly v průměru jednou až dvakrát měsíčně (v závislosti na množství srážkového úhrnu) převezeny na pracoviště IEL, VŠB-TU Ostrava, kde byla analyzována a podrobena dalším testům.

5 METODY ANALÝZ A VÝPOČTOVÝCH METOD

5.1 Stanovení ukazatelů

Pro stanovení ukazatelů atmosférických srážek je vycházeno ze sledovaných komponentů ve srážkách, jak je měří Český hydrometeorologický ústav. Sleduje se zejména úhrn srážek v denním měření, a v týdenním sledování pak vodivost pomocí EC-metru, pH pomocí pH-metru, F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- pomocí IC - iontové chromatografie, Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Fe a Zn pomocí metody FAAS – plamenná atomová absorpční spektrometrie, NH_4^+ metodou spektrofotometre FIA s indofenolem, neboli Bertholetova reakce a Cd, Pb, Ni, Mn, As a Cr metodou ICP-MS – hmotnostní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou. Všechny ukazatele souvisí s atmosférickou depozicí.

5.1.1 pH

Hodnota pH je definována jako záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationů, tedy:

$$pH = -\log(c(H_3O^+))$$

Potenciometrické měření pH spočívá v měření rovnovážného elektromotorického napětí galvanického článku, který tvoří dvě elektrody ponořené do měřeného roztoku. První elektroda je srovnávací se známým konstantním elektrodovým potenciálem (referentní). Druhá elektroda je indikační (měrná), jejíž potenciál je funkcí aktivity vodíkových iontů (H^+), závisí tedy na pH.

Indikační elektroda je ze speciálního skla, ve tvaru baňky, která je vyfouknutá na konci do tvaru skleněné trubičky. Obsahuje roztok se známou a konstantní hodnotou pH, do něhož zasahuje vnitřní srovnávací elektroda. Při ponoření elektrody do měřeného roztoku vznikne mezi externí a interní stranou skleněné membrány potenciálový rozdíl, jehož velikost je úměrná rozdílu pH měřeného a vnitřního roztoku. Poněvadž roztok uvnitř elektrody je vždy stejný, závisí výsledný potenciál pouze na hodnotě pH měřeného roztoku (Horáková, 2000).

5.1.2 Vodivost

Vodivost vody je veličina, která vzorek nepopisuje dle konkrétního složení jednotlivých iontů a jejich množství, ale popisuje celkovou charakteristiku systému. Udává informaci o souhrnném obsahu solí, kyselin a zásad. Kromě koncentrace ovlivňuje vodivost i pohyblivost iontů, která je výrazně závislá na teplotě. Pro běžné případy lze teplotní závislost považovat lineární s koeficientem teplotní závislosti kolem 0,2 - 2 % na jeden stupeň Celsia. Teplotní závislost je třeba eliminovat a z tohoto důvodu vodivostní přístroje přepočítávají aktuální naměřenou hodnotu vodivosti na vodivost při referenční teplotě (např. 25 °C). (Horáková, 2000).

U zředěných roztoků je vodivost lineární funkce iontové koncentrace. Při stanovení vodivosti u odpadních vod, které obsahují ionty organických látek, je třeba dbát zvýšené opatrnosti.

Vodivost je převrácená hodnota odporu v roztoku v Ω , obsaženého mezi dvěma elektrodami o ploše 1 m², které jsou od sebe vzdáleny 1 m. Měření konduktivity spočívá na stejném principu jako měření odporu v elektrotechnice. Problém připojení roztoku do elektrického měřicího obvodu zabezpečuje vodivostní měřicí sonda, která obsahuje elektrody z inertního materiálu. U destilované či demineralizované vody hodnota vodivosti stanovuje přesnou kvalitu vody, ale u atmosférických srážek je třeba uvážit rozpuštěný CO₂, který vodivost zvyšuje.

5.1.3 F⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻

Iontová chromatografie (IC) se dělí na základní skupiny dle náboje analytu, který může aniontový nebo kationtový. Princip metody je založen na vzájemných iontových reakcích molekul analytu s povrchem stacionární fáze, obsahující iontové skupiny s opačným nábojem, než který má analyt. Jedná se o analytickou metodu vhodnou pro rychlé stanovení kationů a anionů ve směsích, zejména pak ve vodě. Metoda využívá detekčních systémů různých typů, univerzální detektor je detektor konduktivní (HPLC, 2017).

Principem metody je rozdílná rychlost pohybu látek v soustavě mobilní a stacionární fáze. Vzorek, který obsahuje několik složek je unášen mobilní fází. Podle toho, jak jsou

jednotlivé složky poutány k stacionární a mobilní fázi dochází k tomu, že některé složky se pohybují rychleji a jiné pomaleji. Výstupem metody chromatografie je chromatogram.

5.1.4 Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Fe a Zn

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) využívá jako analytickou vlastnost absorpci záření volnými atomy sledovaného elementu. Úbytek primárního záření je mírou koncentrace volných atomů prvku, který záření absorboval. Rozdíly energií mezi jednotlivými elektronovými stavy atomu jsou charakteristické pro každý prvek (Kaňa, Mestek, 2017).

Jedná se o optickou metodu založenou na principu absorpce světla daných vlnových délek volnými atomy prvků. Atomový absorpční spektrometr je sestaven ze zdroje atomizace, optického systému a řídicí a vyhodnocovací jednotky. K atomizaci analyzovaného prvku se využívá buď plamene, nebo grafitové kyvety (ETA AAS). AAS je jedna ze základních metod pro výzkum prvkového složení materiálů.

Faktory ovlivňující citlivost plamenové FAAS (Atomová spektrometrie, 2017):

- analytická čára např. nejcitlivější čára mědi je 324,7 nm (charakteristická koncentrace cca 0,025 $\mu\text{g/ml}$), nejméně citlivá čára Cu je 244,2 nm (charakteristická koncentrace je 9 $\mu\text{g/ml}$),
- žhavicí proud výbojky,
- účinnost zmlžování (závisí na seřízení zmlžovače, na viskozitě a povrchovém napětí roztoku vzorku),
- délka atomizační zóny (hořák pro acetylen – vzduchový plamen má délku štěrby 10 cm, hořák pro acetylen- N_2O jen 5 - 6 cm),
- výška pozorování (je dána vertikální polohou hořáku),
- účinnost atomizace (vliv teploty, složení plamene),
- ionizace analytu (ionty vznikající z atomů ztrátou elektronu neabsorbují záření rezonanční čáry; míru ionizace analytu ovlivňuje teplota a matrice vzorku).

Výhodou metody FAAS je rychlá analýza (10 - 15 s/vzorek a prvek), velmi dobrá opakovatelnost, žádné nebo jen mírné rušivé vlivy, které lze snadno korigovat, snadná automatizace měření a relativně levné přístroje a nízké provozní náklady.

5.1.5 NH_4^+

Spektrofotometrie je velmi citlivá analytická metoda, která se využívá pro stanovení koncentrace anorganických látek, především kovů. Spektrofotometrické měření využívá principu Lambert-Beerova zákona, tedy že intenzita zbarvení roztoku (tzv. absorbance) je při konstantní tloušťce vrstvy měřeného roztoku (délka kyvety) a konstantní vlnové délce záření přímo úměrná molární koncentraci. Spektrofotometrie funguje na základě pohlcování světla v různých vlnových délkách spektra. Pokud se měří jen při jedné vlnové délce, metoda se označuje jako fotometrie. Spektrofotometry jsou dokonalejší přístroje, které umožňují vlnovou délku monochromatického světla libovolně nastavit, případně měřit část absorpčního spektra v určitém úseku vlnových délek (Spektrofotometre, 2017).

Spektrofotometr s proměnou vlnovou délkou světla tedy umožňuje měření barevných křivek (skutečné barvy) vzorku (závislost absorbance na vlnové délce). Absorbance je přímo úměrná koncentraci barevné látky, lze metodu využít pro stanovení koncentrace neznámého vzorku. Přístroj se skládá ze zdroje bílého světla, které poskytuje světlo obsahující vlnové délky spojitě od infračerveného záření až po UV záření. Za žárovkou následuje monochromátor, který rozkládá bílé světlo na jednotlivé složky a odděluje určenou vlnovou délku. Monochromatické světlo prochází vzorkem a dopadá na detektor záření, měřící intenzitu (Spektrofotometre, 2017).

5.1.6 Cd, Pb, Ni, Mn, As a Cr

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem je ultrastopová analytická metoda sloužící ke stanovení obsahu stopových množství jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Tato technika umožňuje analyzovat téměř všechny prvky od lithia po uran s citlivostí od jednotek ppt až po stovky ppm.

ICP MS je analytická spektrální technika kombinující ICP (indukčně vázané plazma) jako zdroj kladně nabitých částic (např. Na^+ , Pb^+) a hmotnostní spektrometrii (MS), která tyto částice detekuje. Přístroj je složen z prostředí s atmosférickým tlakem a plazmovým hořákem (kde je umožněn pohyb nabitých iontů) a detektoru iontů ve vysokém vakuu.

Přístroj tedy tvoří plazmový zdroj a přechodná část, tzv. expanzní komora. Vlastní hmotnostní spektrometr tvoří iontová optika, kvadrupól a detektor. Všechny tyto součásti, jsou zbaveny vzduchu, aby byl umožněn pohyb vznikajících iontů z plazmy do analyzátoru a vzduch nenarušoval vlastní stanovení. Tlak v prostoru kvadrupólu a detektoru dosahuje až 10^{-5} Pa. Plazmový zdroj je tvořen radiofrekvenčním generátorem a indukční cívkou, plazmovým hořákem, mlžnou komorou a zmlžovačem. V plazmovém hořáku vzniká plazma. Pomocí inertního plynu (Ar) a zmlžovače je vytvořen v mlžné komoře aerosol s frakcí pod $< 5 \mu\text{m}$), který se dostává do hořáku (Mihaljevič, Strnad a Šebek, 2004).

Dopadem na povrch zesilovače vzniká velmi slabý elektrický proud, který je následně zesílen a je změřena jeho intenzita. Pomocí výpočetního programu jsou naměřené intenzity signálu převedeny na koncentrační data a výsledkem analýzy jsou údaje o koncentraci měřených prvků v analyzovaném roztoku.

5.2 Chemické složení

Chemické složení atmosférických srážek ukazuje znečištění ovzduší díky poskytnutí informací o emisních zdrojích. Ty popisují složení srážek, místní a regionální distribuci srážek a případné dopady na ekologii. Vlastní složení atmosférických srážek je zatíženo spolupůsobením více faktorů, v oblastech aglomerací zejména zvýšenou koncentrací NO_x a SO_2 .

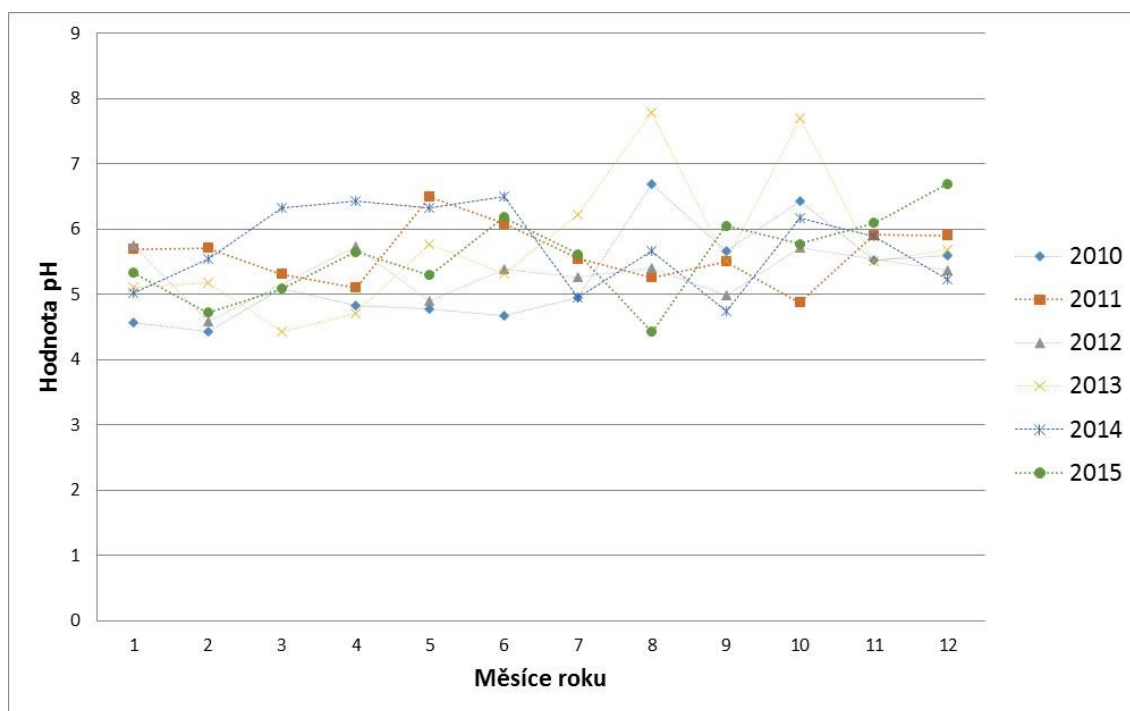
6 VÝSLEDKY A DISKUZE

6.1 Vyhodnocení chemismu

V následující části diplomové práce jsou popsány a graficky vyhodnoceny výsledky chemismu atmosférických srážek za období 2010 - 2015 z dat získaných z databáze ČHMÚ a dále výsledky z odběrů vzorků srážkových vod na vybraných lokalitách Moravskoslezského a Olomouckého kraje.

Vývoj pH atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 2).

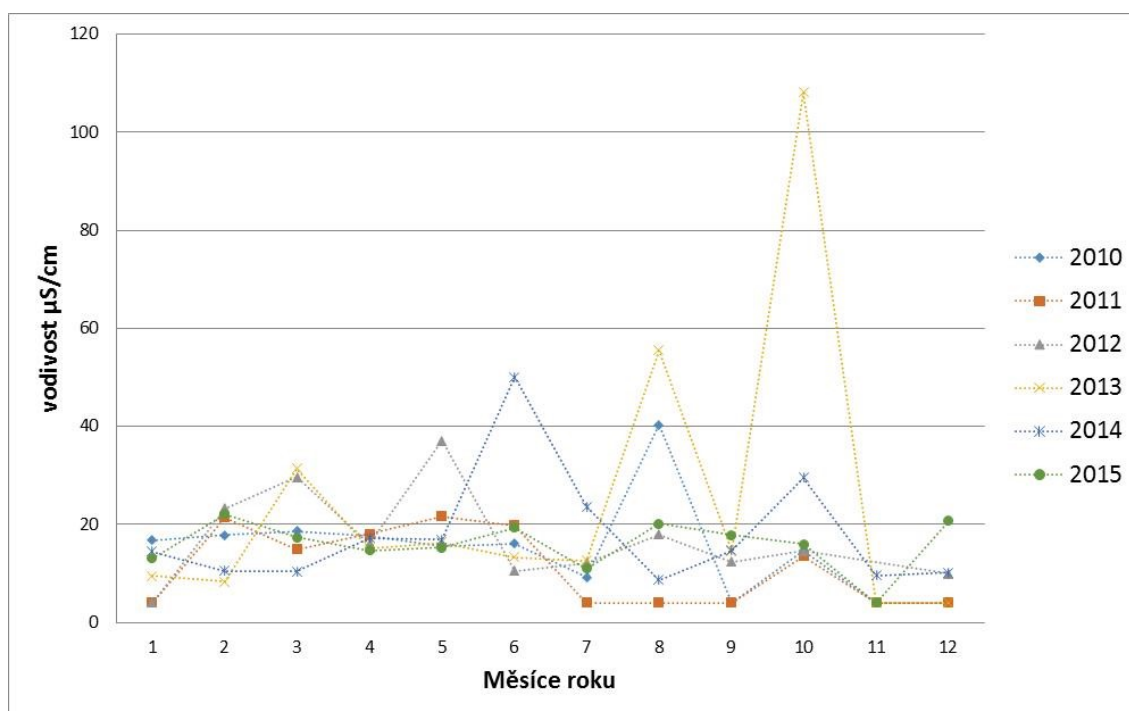
Z grafu vyplývá, že nejvyšší hodnoty pH byly naměřeny v měsících srpnu a říjnu roku 2013 a oproti tomu nejnižší hodnoty byly naměřeny v únoru roku 2010 (4,43) a v srpnu roku 2015 (4,42). Hodnoty pH se během všech sledovaných let pohybovaly téměř stabilně v rozmezí od 4,42 do 6,69. Zvýšené hodnoty pH (7,79) se objevily v roce 2013, a to v srpnu a v říjnu. Srážky, které mají pH nižší než 5,6 jsou podle Calvo et al. (2010) již označovány jako kyselý déšť.



Obrázek 2: Vývoj pH ve stanici kód programu TCRVB

Vývoj vodivosti atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 3).

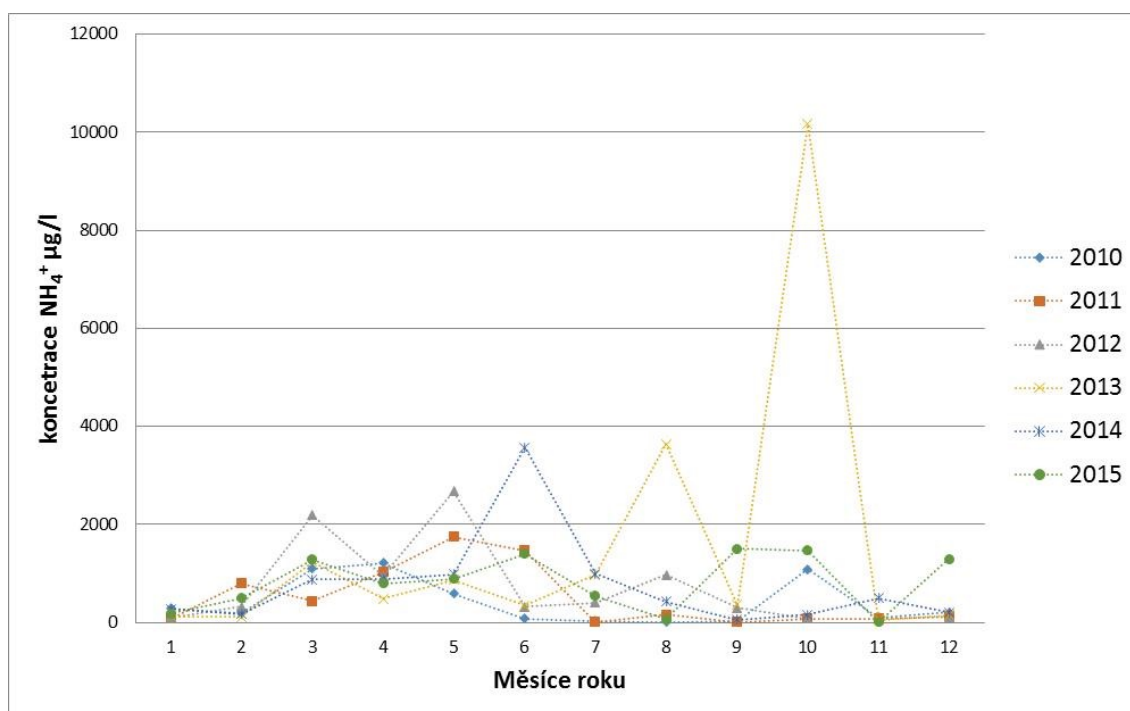
Z grafu vyplývá, že nejvyšší hodnoty vodivosti byly naměřeny v srpnu roku 2013 a v červnu roku 2014 a součtově nejnižší hodnoty ze sledovaných let byly naměřeny v roce 2011. V porovnání všech měsíců a všech sledovaných let se hodnoty vodivosti pohybovaly téměř stabilně, a to v rozmezí 4 až 55 $\mu\text{S/cm}$. Průměr hodnot měsíce říjen 2013 však převyšuje všechny hodnoty, a to hodnotou 108,1 $\mu\text{S/cm}$. Zvýšená vodivost je pravděpodobně vždy projevem zvýšených iontů, a to nám potvrzuje hlavně obrázek (Obrázek 3), kde si můžeme povšimnout, že v měsíci říjnu roku 2013 byla také zvýšená koncentrace iontů NH_4^+ . Toto zvýšení mohlo být způsobeno velkou železárnou nebo firmou pro výrobu viskózní buničiny, které se nacházejí v okolí měřicí stanice.



Obrázek 3: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TCRVB

Vývoj koncentrace NH_4^+ atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 4).

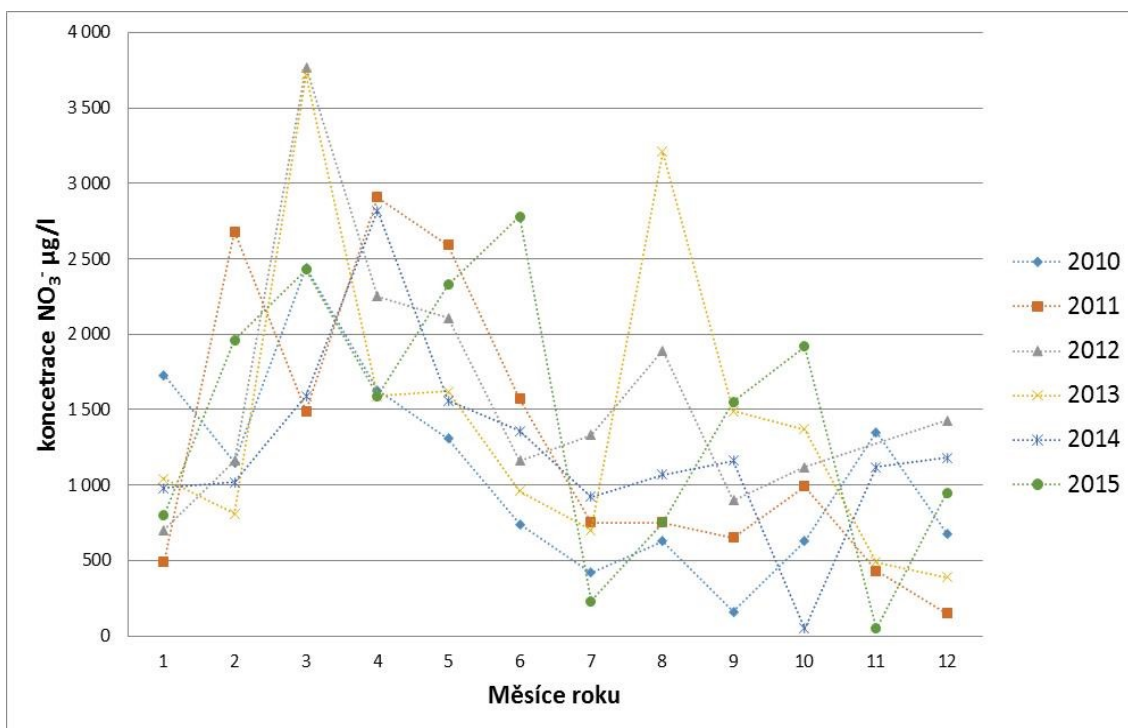
Z grafu vyplývá, že nejvyšší průměrná měsíční hodnota koncentrace NH_4^+ byla zaznamenána v srpnu roku 2013 a přesahovala 10000 $\mu\text{g/l}$, a to jak jsem již zmiňovala, způsobilo také zvýšenou hodnotu vodivosti (Obrázek 3). Můžeme si také povšimnout, že v roce 2014 převyšuje mírně průměrná hodnota za měsíc červen téměř stabilní průběh během sledovaných let. A opět se toto zvýšení projevilo také na zvýšené vodivosti v říjnu (Obrázek 4). Zvýšení koncentrace iontů NH_4^+ mohlo být pravděpodobně způsobeno velkými výrobními firmami, které se nacházejí v okolí měřicí stanice. Tento iont také vzniká jako emise při procesech zpracování dřeva a chlazení poté, co se chemickými procesy v atmosféře přemění z amoniaku.



Obrázek 4: Vývoj koncentrace NH_4^+ ve stanici kód programu TCRVB

Vývoj koncentrace NO_3^- atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 5).

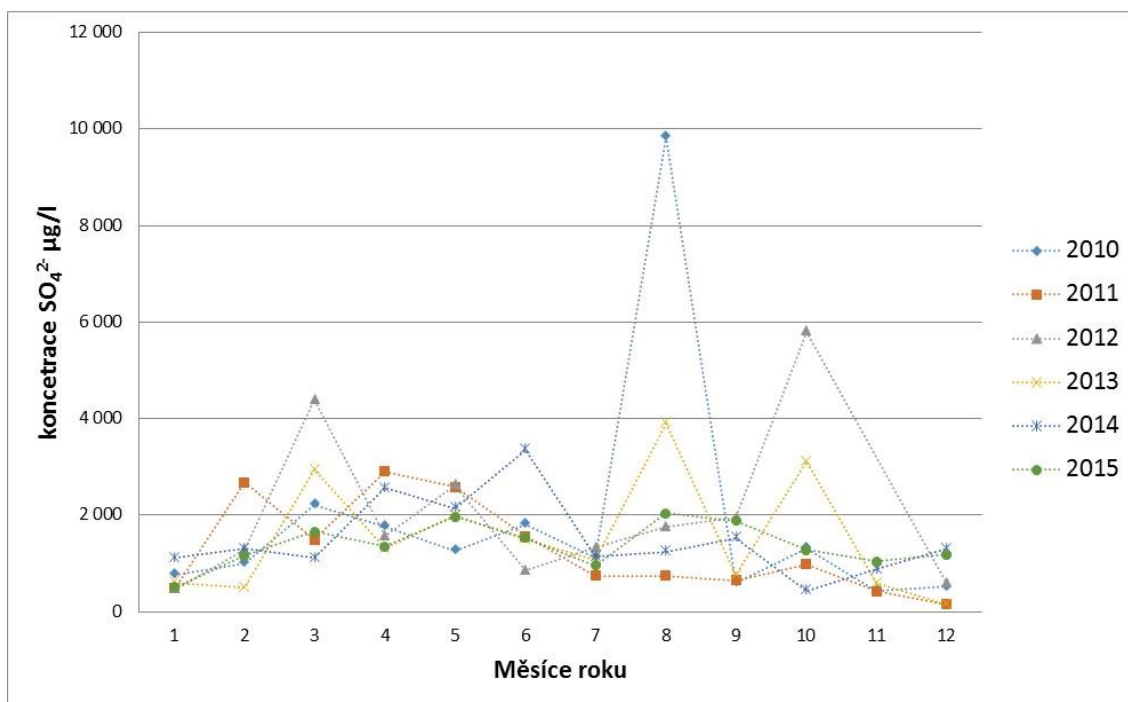
Z grafu vyplývá, že nejvyšší průměr hodnot koncentrace NO_3^- byl naměřen v únoru roku 2011 a v únoru roku 2015 a součtově nejnížší hodnoty ze sledovaných let byly naměřeny v roce 2010. Hodnoty koncentrace NO_3^- se pohybovaly ve všech sledovaných letech většinou výše v první polovině roku, což může být zapříčiněno zimním obdobím a tudíž vyšší činností tepláren v okolí. Některé pro výrobu tepla používají spalování biomasy, při kterém vznikají emise NO_x . Křivky vývoje koncentrace NO_3^- má většinou klesající trend v průběhu celého roku. Avšak hlavně v roce 2013 a také v roce 2015 si můžeme všimnout velkého kolísání hodnot.



Obrázek 5: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TCRVB

Vývoj koncentrace SO_4^{2-} atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 6).

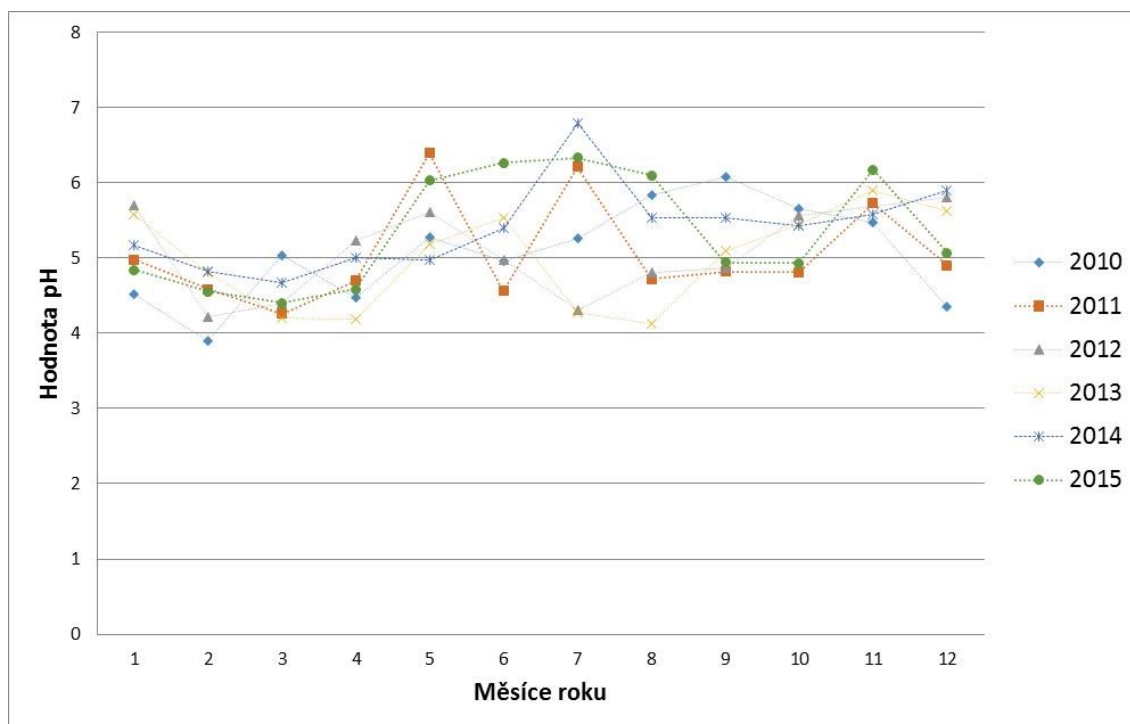
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty koncentrace SO_4^{2-} byly naměřeny v letech 2010 a 2011, a to hlavně v druhé polovině roku a součtově nejnižší hodnoty ze sledovaných let byly naměřeny v roce 2011. Hodnoty jednotlivých let se pohybovaly téměř vyrovnaně v průběhu každého roku, a to v rozmezí od 150 až 4390 $\mu\text{g/l}$. Avšak v porovnání všech měsíců a všech sledovaných let převyšuje srpen roku 2010 více jako dvojnásobně všechny hodnoty. Toto převýšení podle webu Arnika (2014), který jmenuje největší znečišťovatele pro rok 2010 a Moravskoslezský kraj, může být způsobeno činností železářny a firmou pro výrobu viskózní buničiny.



Obrázek 6: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TCRVB

Vývoj pH atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVS) je znázorněn na obrázku (Obrázek 7).

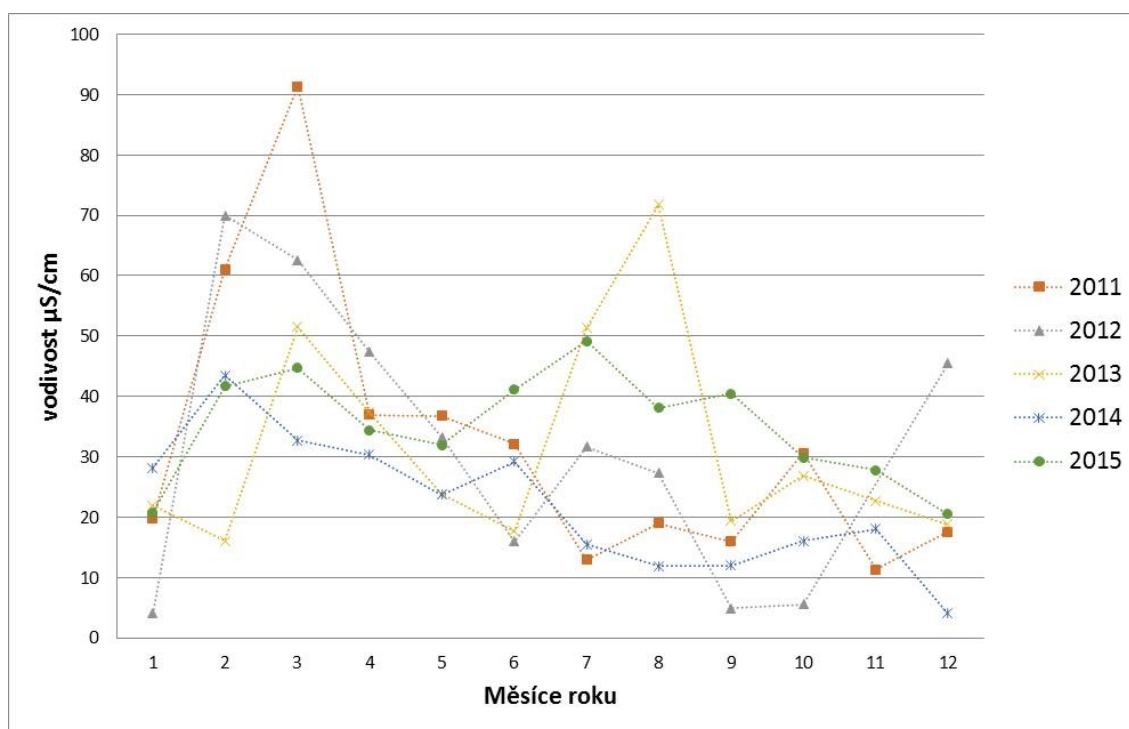
Z grafu vyplývá, že nejvyšší hodnoty pH byly naměřeny v roce 2014, a to v období letních měsíců a součtově nejnižší hodnoty ze sledovaných let byly naměřeny v roce 2012. Hodnoty pH se během všech let pohybovaly nestabilně i s vysokými výkyvy z měsíce na měsíc, a to hlavně v roce 2011. Všechny naměřené hodnoty se během sledovaných let pohybovaly v rozmezí od 3,9 do 6,79. Avšak podle Hrušky a Kopáčka (2005) v případě průmyslových oblastí, vykazují hodnoty pH známky acidity a měly by se pohybovat se v rozmezí 3,5 - 4,5. Z grafu dále můžeme vyčíst, že nejvyšší hodnoty se objevily v posledních letech, a to v letním období.



Obrázek 7: Vývoj pH ve stanici kód programu TCRVS

Vývoj vodivosti atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVS) je znázorněn na obrázku (Obrázek 8).

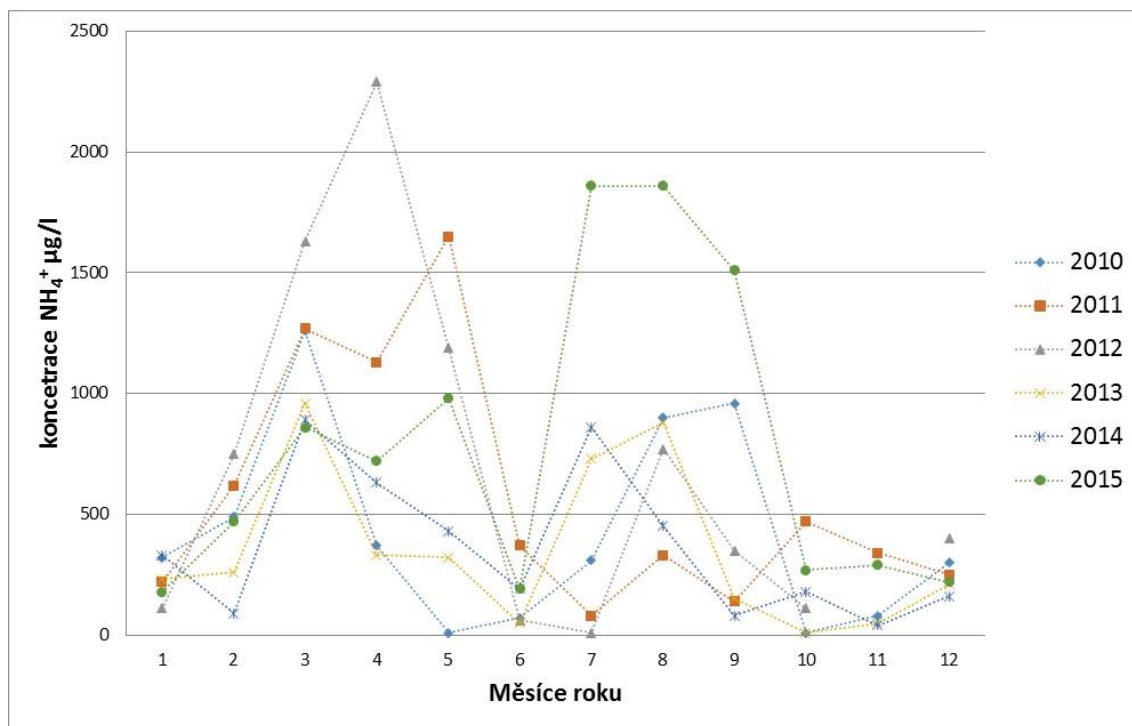
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty vodivosti byly naměřeny v roce 2015 a celkově nejnižší hodnoty ze sledovaných let byly naměřeny v roce 2011. Hodnoty vodivosti se v průběhu všech pěti sledovaných let pohybovaly v rozmezí od 4 až 91,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. V porovnání všech měsíců a všech sledovaných let však měsíc březen roku 2011 převyšuje všechny hodnoty. Křivky vývoje vodivosti mají kromě vybraných extrémních hodnot téměř klesající trend v průběhu roku. Zvýšená vodivost je pravděpodobně vždy projevem zvýšené koncentrace iontů. V porovnání s vývojem koncentrace NO_3^- (Obrázek 10) usuzuji, že hodnoty vysoké vodivosti v letech 2011 a 2013 souvisí hlavně se zvýšenou koncentrací NO_3^- v atmosférických srážkách ve stejných letech.



Obrázek 8: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TCRVS

Vývoj koncentrace NH_4^+ atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVS) je znázorněn na obrázku (Obrázek 9).

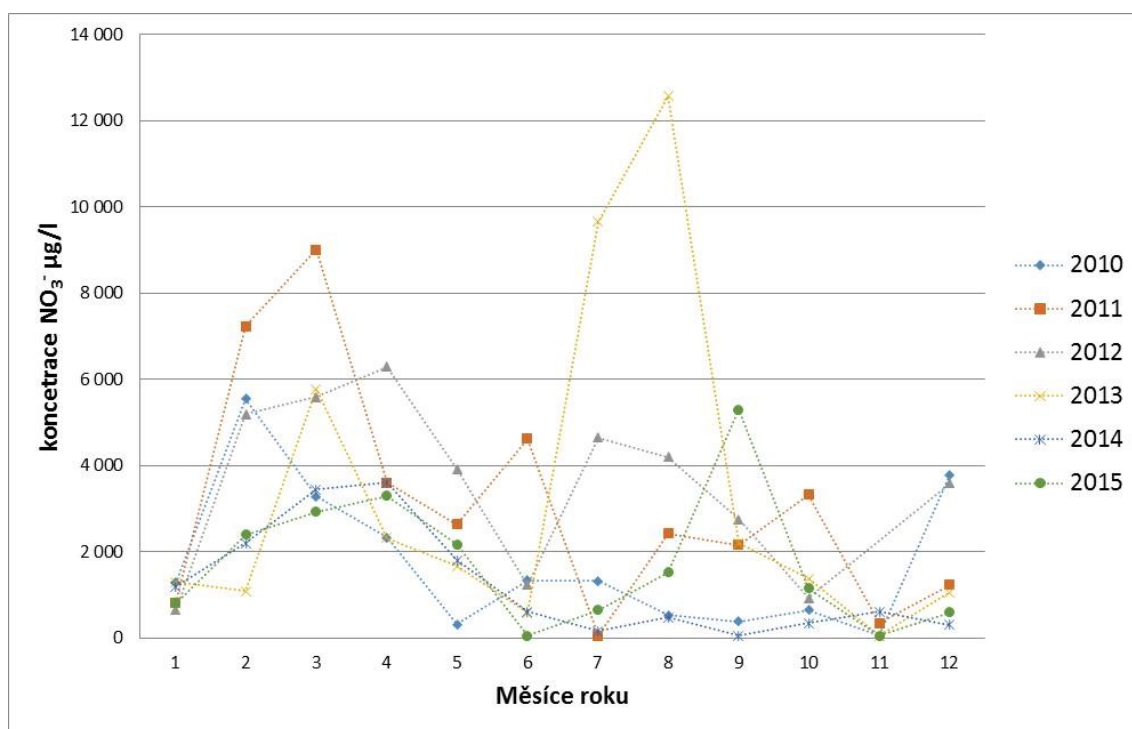
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty byly naměřeny v roce 2015, a to s velkým výkyvem v červenci a srpnu. Tento výkyv ovlivnil i hodnoty vodivosti v tom samém roce (Obrázek 8). Koncentrace NH_4^+ se během všech sledovaných let pohybovala s velkými výkyvy hodnot, a to od 10 do 2290 $\mu\text{g/l}$. Křivky všech sledovaných let mají stejný průběh v obou polovinách roku, kdy se na jaře a na podzim dostanou na maximum a v červnu a v prosinci poté klesají na minimum. S vývojem koncentrace NH_4^+ souvisí také vývoj NO_3^- (Obrázek 10), kdy alespoň v první polovině roku je u všech sledovaných let podobný průběh vývoje hodnot.



Obrázek 9: Vývoj koncentrace NH_4^+ ve stanici kód programu TCRVS

Vývoj koncentrace NO_3^- atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVS) je znázorněn na obrázku (Obrázek 10).

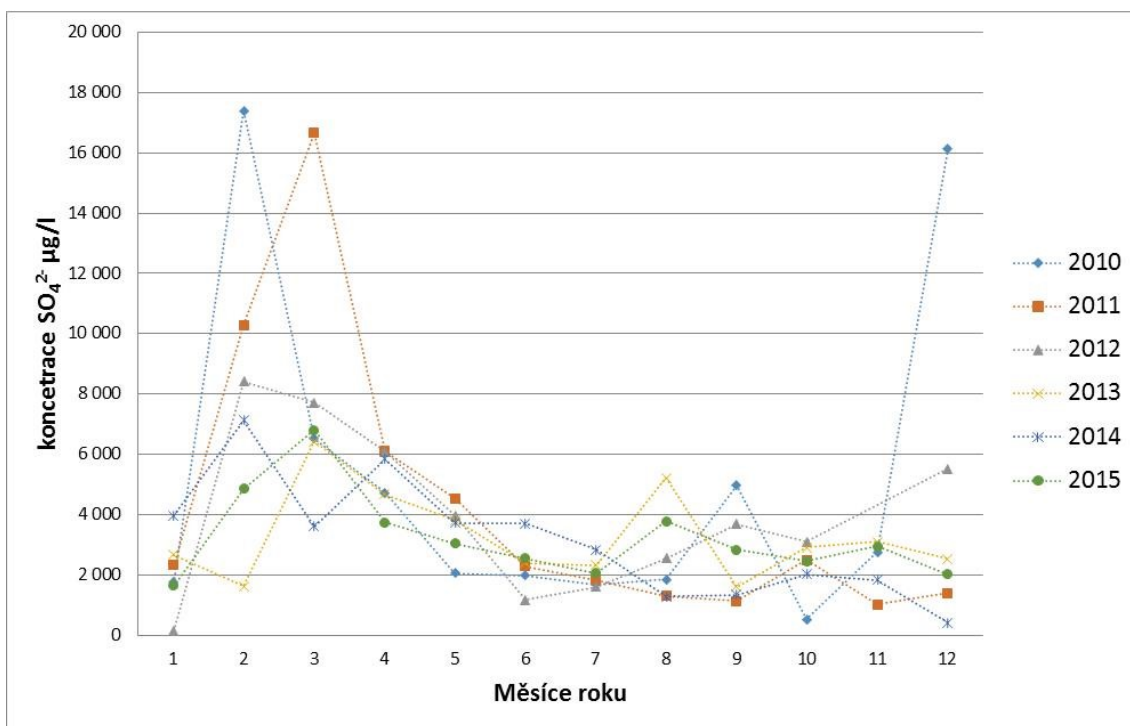
Z grafu vyplývá, že v roce 2013 byly po součtu naměřeny nejvyšší hodnoty, a to s extrémním výkyvem v srpnu, který ovlivnil i zvýšení vodivosti (Obrázek 8). Toto převýšení podle webu Arnika (2014), který jmenuje největší znečišťovatele pro rok 2013 a Moravskoslezský kraj, může být způsobeno činností železářny a firmou pro výrobu viskózní buničiny. Také některé teplárny v okolí používají pro výrobu tepla spalování biomasy, při kterém vznikají emise NO_x . Tyto emise se do atmosféry také dostávají z dopravy při spalování pohonných látek. Křivka roku 2011 má také podobný průběh jako vývoj koncentrace NH_4^+ v ten samý rok a tedy společně ovlivnily vývoj vodivosti v roce 2011.



Obrázek 10: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TCRVS

Vývoj koncentrace SO_4^{2-} atmosférických srážek ve stanici Červík (kód programu TCRVS) je znázorněn na obrázku (Obrázek 11).

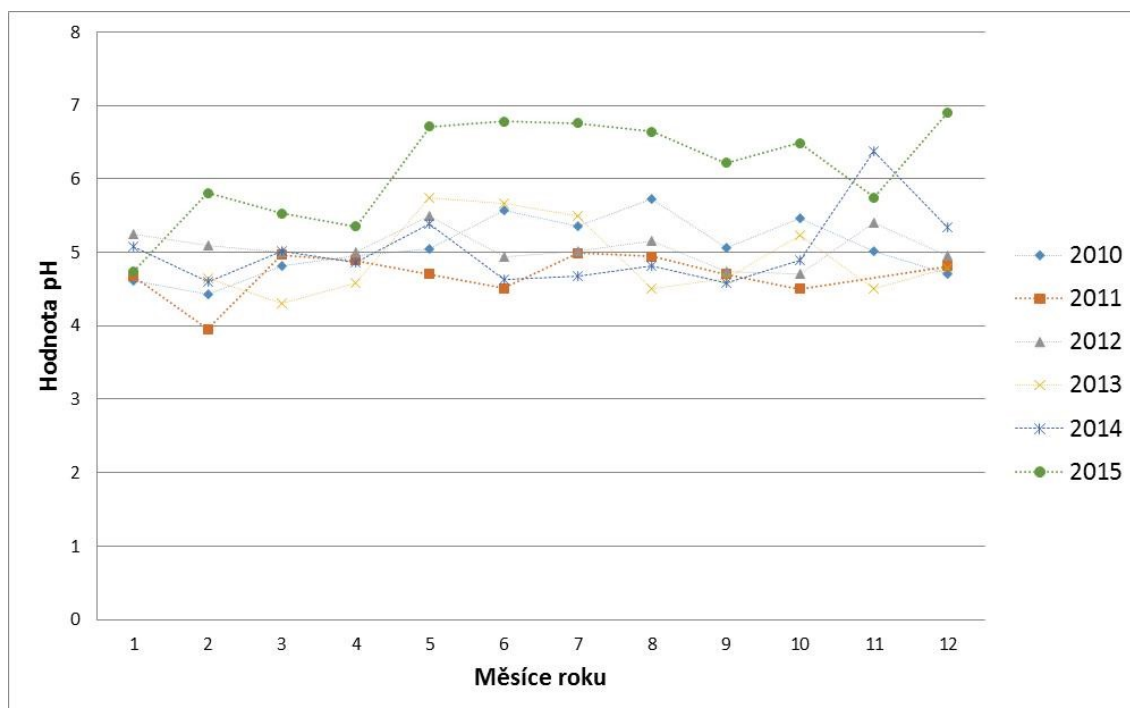
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v roce 2010, a to s velkým extrémem na začátku roku a na konci roku. Toto převýšení podle webu Arnika (2014), který jmenuje největší znečišťovatele pro rok 2010 a Moravskoslezský kraj, může být způsobeno činností železářny a firmou pro výrobu viskózní buničiny. Hodnoty se v průběhu jednotlivých let pohybovaly v rozmezí od 0 po 8420 $\mu\text{g/l}$ s výjimkou třech extrémních výkyvů až nad 16000 $\mu\text{g/l}$. Jinak mají křivky sledovaných let téměř klesající trend v průběhu celého roku s mírnou navýšenou koncentrací na začátku roku.



Obrázek 11: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TCRVS

Vývoj pH atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLEB)
je znázorněn na obrázku (Obrázek 12).

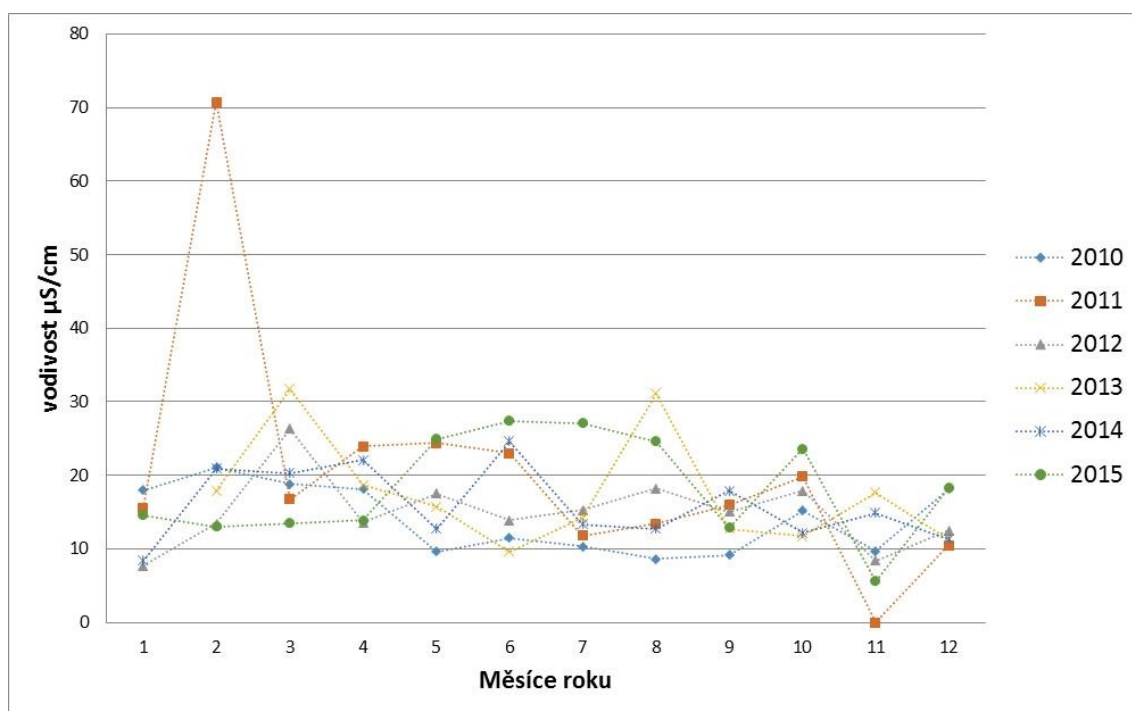
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty pH byly naměřeny v roce 2015, a to s velkým výkyvem v měsících květnu až srpnu. Celkově nejnižší hodnoty pak byly naměřeny v roce 2011. Hodnoty pH se během sledovaných let pohybovaly stabilně s hodnotami od 4 do 5,81 kromě roku 2015, kdy měly hodnoty pH nejvyšší rozdíly, a to od 4,74 až 6,91 s téměř stoupajícím charakterem v průběhu roku. Podle Hrušky a Kopáčka (2009) je však z pohledu České republiky průměrné pH srážek v rozmezí 4,4 - 4,6. Normální srážky mají hodnotu pH pod 6 a jsou již mírně kyselé. Toto mírné přirozené okyselení však způsobuje oxid uhličitý.



Obrázek 12: Vývoj pH ve stanici kód programu TKLEB

Vývoj vodivosti atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLEB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 13).

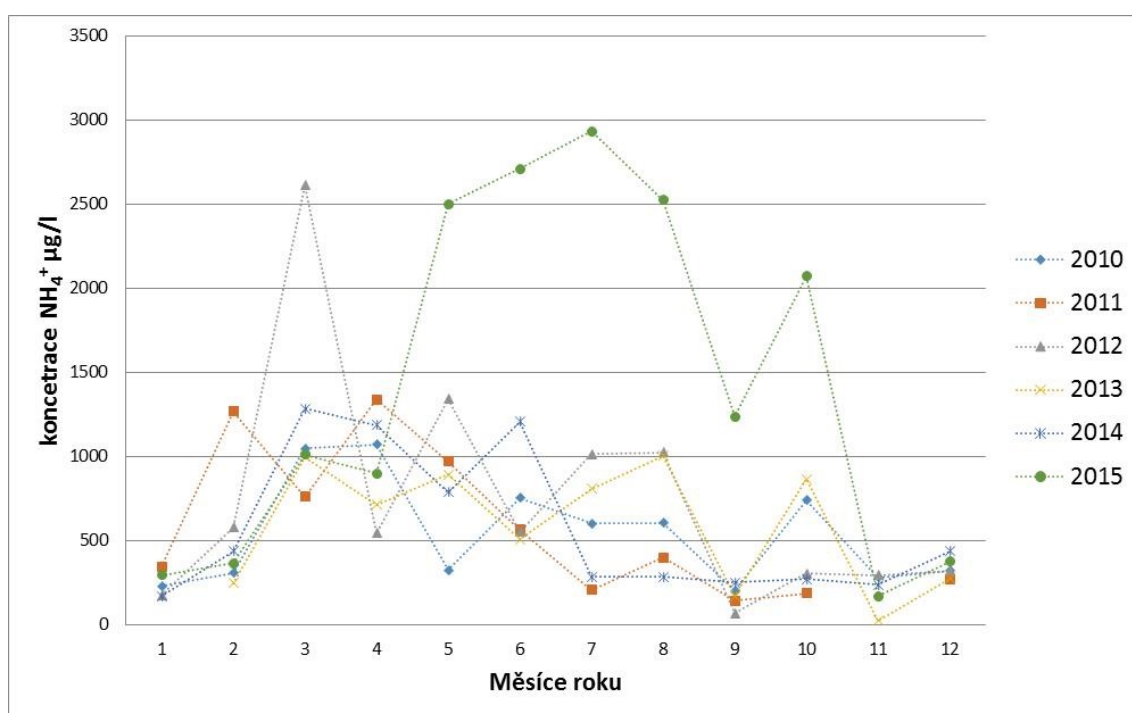
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty vodivosti byly naměřeny v roce 2011 a nejstabilnější vývoj vodivosti zároveň s nejnižšími naměřenými hodnotami byl v roce 2010. Hodnoty vodivosti se v průběhu sledovaných let pohybovaly v rozmezí cca od 6 do 31 $\mu\text{S}/\text{cm}$ s výjimkou roku 2011, kdy se objevila extrémní hodnota v únoru, a to přes 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a poté v měsíci listopadu klesla až na 0. Zvýšená vodivost je pravděpodobně vždy projevem zvýšené koncentrace iontů, a tudíž v únoru roku 2011 byla tato extrémní hodnota ovlivněna zvýšenou koncentrací jak NO_3^- tak SO_4^{2-} (Obrázek 15, Obrázek 16.) Toto zvýšení mohlo být způsobeno velkou železárnou nebo firmou pro výrobu viskózní buničiny, které se nacházejí v okolí měřicí stanice.



Obrázek 13: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TKLEB

Vývoj koncentrace NH_4^+ atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLEB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 14).

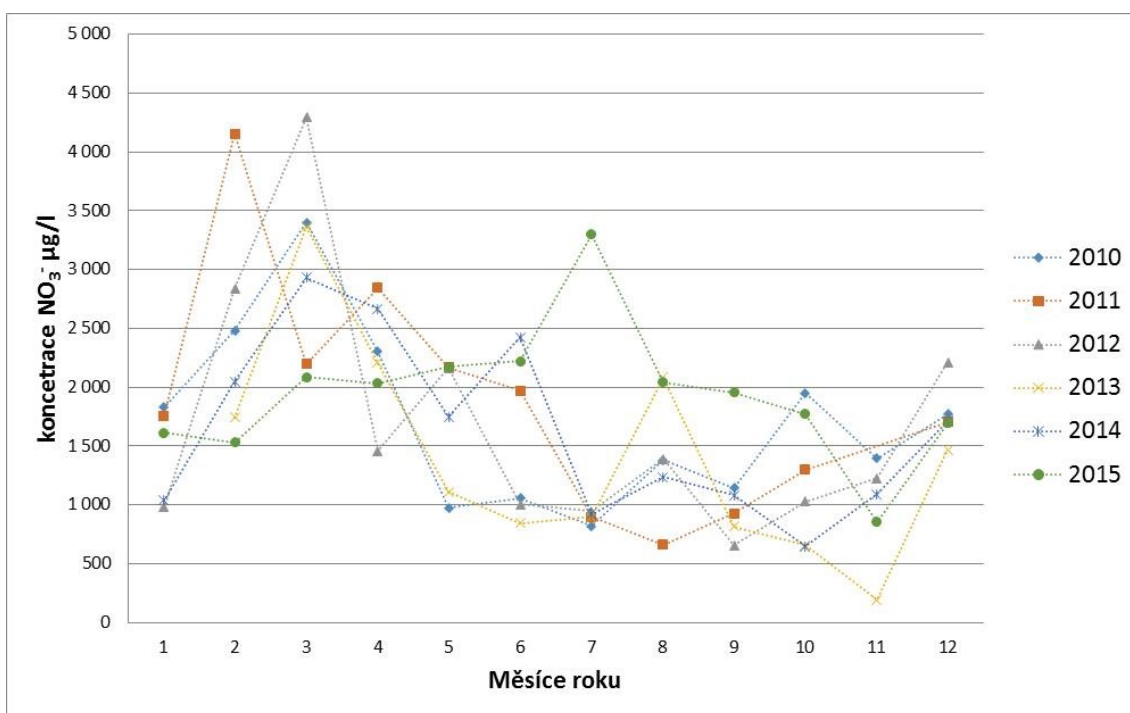
Z grafu vyplývá, že nejvyšší průměrné měsíční hodnoty byly po součtu naměřeny v roce 2015. Nejvyšší hodnoty pak v tomto roce byly zaznamenány v měsících od května do srpna. Toto zvýšení ovlivnilo i zvýšené pH v témže roce (Obrázek 12). Koncentrace se během sledovaných let pohybovala v rozmezí od 65 do 1338 $\mu\text{g/l}$ s výjimkou roku 2012 a 2015, kdy koncentrace přesáhla hodnoty nad 2500 $\mu\text{g/l}$. Zvýšení koncentrace iontů NH_4^+ mohlo být pravděpodobně způsobeno velkými výrobními firmami, které se nacházejí v okolí měřicí stanice. Tento iont také vzniká jako emise při procesech zpracování dřeva a chlazení. Zvýšení v roce 2015 mohlo také zapříčiněno větším výskytem požárů v období letních měsíců.



Obrázek 14: Vývoj koncentrace NH_4^+ ve stanici kód programu TKLEB

Vývoj koncentrace NO_3^- atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLEB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 15).

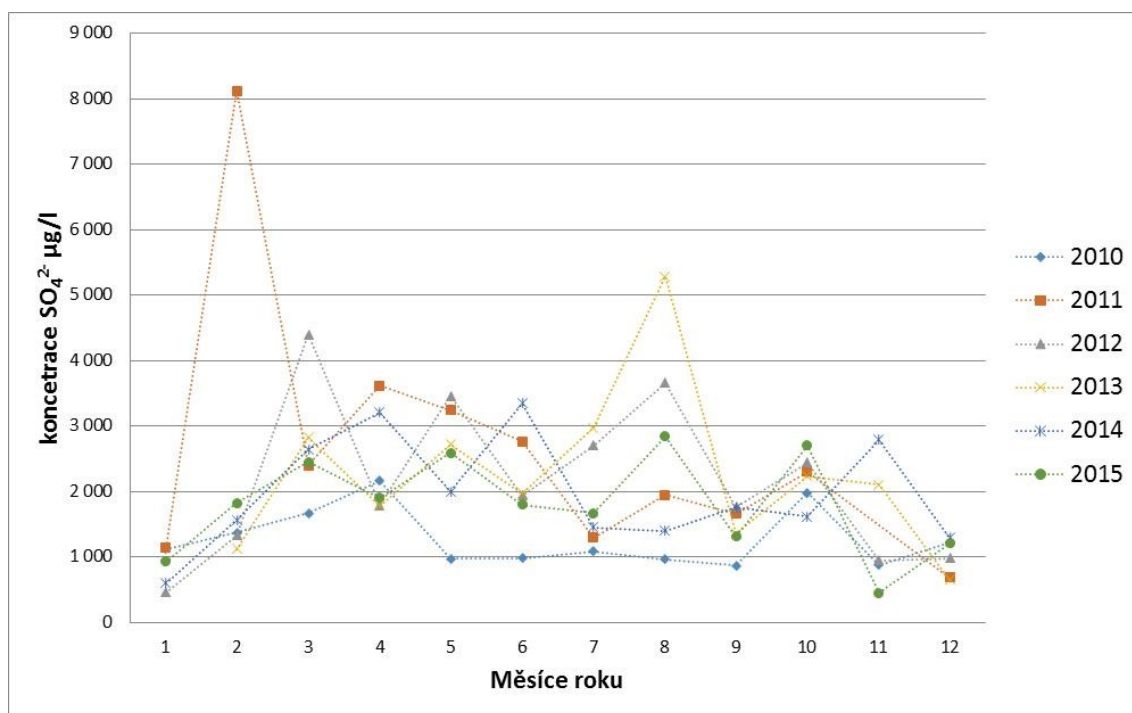
Z grafu vyplývá, že nejvyšší průměr hodnot koncentrace NO_3^- byl naměřen v únoru roku 2011 a v březnu 2012. Zvýšená koncentrace v únoru roku 2011 ovlivnila pravděpodobně i zvýšení koncentrace vodivosti (Obrázek 13). Hodnoty koncentrace NO_3^- se pohybovaly ve všech sledovaných letech většinou výše v první polovině roku, což může být zapříčiněno zimním obdobím a tudíž vyšší činností tepláren v okolí. Některé pro výrobu tepla používají spalování biomasy, při kterém vznikají emise NO_x . V průběhu všech sledovaných let se hodnoty koncentrace pohybovaly v rozmezí od 191 až 4291 $\mu\text{g/l}$. V roce 2015 došlo k výkyvu koncentrace opět v červenci a tento výkyv souvisí se zvýšenou koncentrací NH_4^+ (Obrázek 14).



Obrázek 15: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TKLEB

Vývoj koncentrace SO_4^{2-} atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLEB) je znázorněn na obrázku (Obrázek 16).

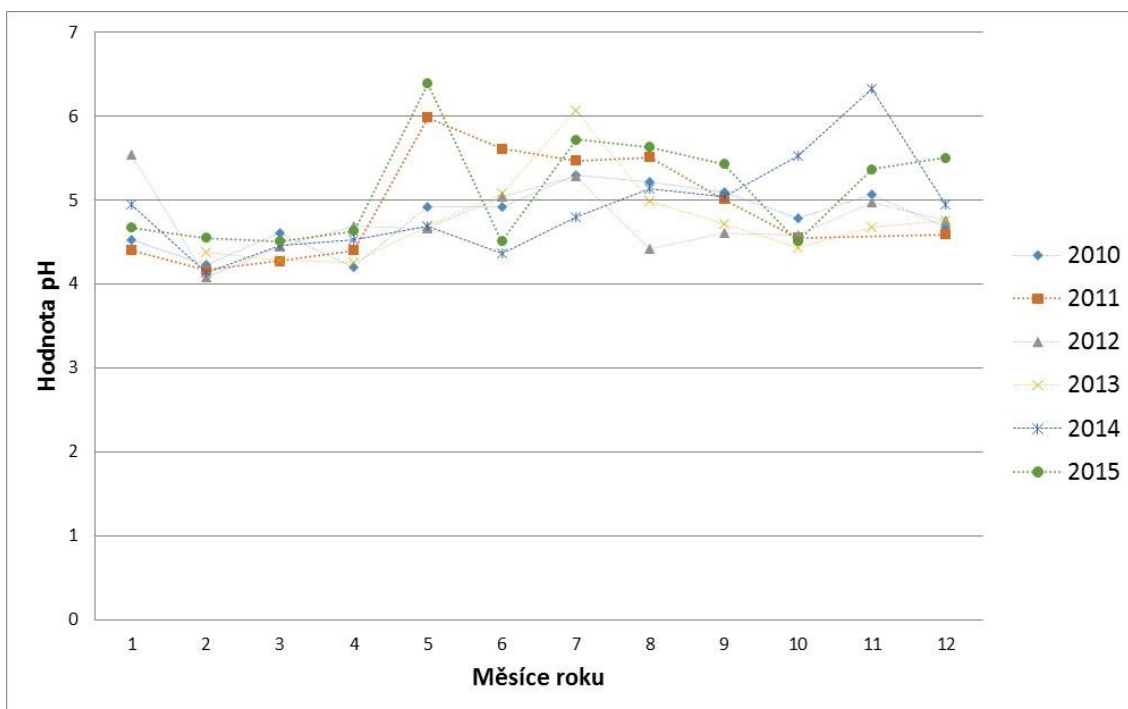
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty koncentrace SO_4^{2-} byly naměřeny v roce 2011, a to hned na začátku roku v únoru, kdy tato extrémní hodnota dosáhla přes 8000 $\mu\text{g/l}$. Navýšení koncentrace těchto iontů ovlivňuje i navýšení vodivosti, což potvrzuje obrázek č. 13. Během všech sledovaných let se hodnoty pohybovaly v rozmezí od 447 do 5287 $\mu\text{g/l}$ s výjimkou již zmiňované hodnoty v roce 2011. Toto převýšení podle webu Arnika (2014), který jmenuje největší znečišťovatele pro rok 2011 a Moravskoslezský kraj, může být způsobeno činností železářny a firmou pro výrobu viskózní buničiny. Emise SO_4^{2-} také vznikají při spalování uhlí a tedy i tohle mohlo být důsledkem navýšení koncentrace. Nejstabilnější průběh průměrných hodnot byl v roce 2010.



Obrázek 16: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TKLEB

Vývoj pH atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLES) je znázorněn na obrázku (Obrázek 17).

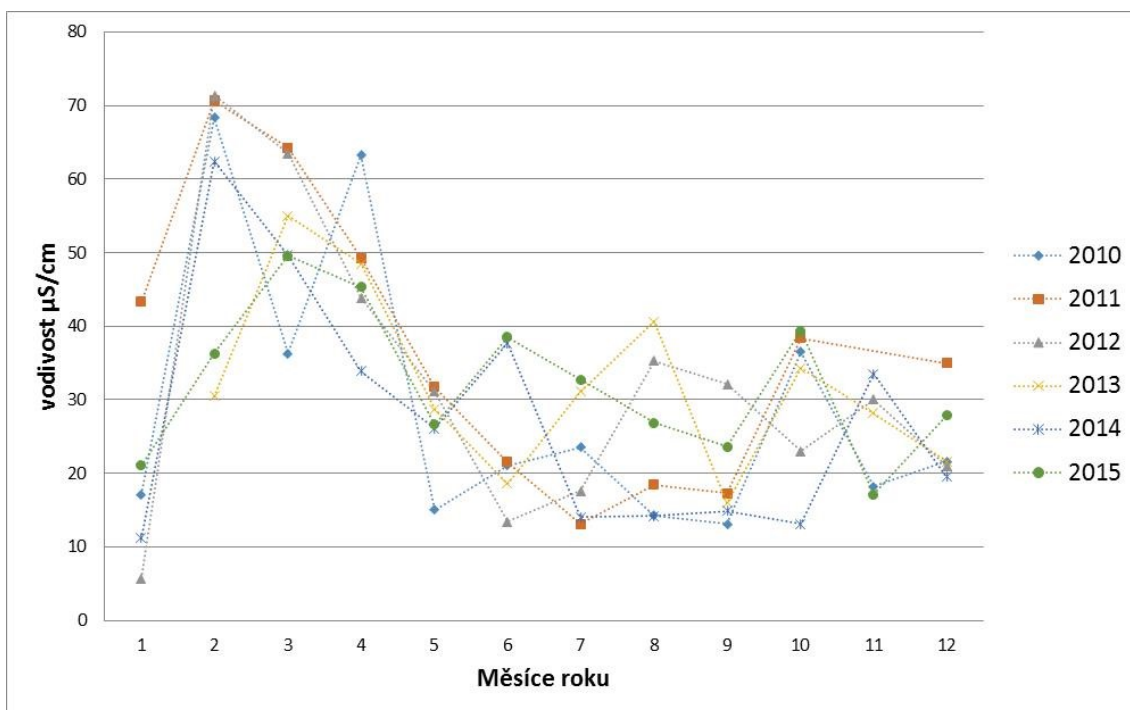
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty pH byly naměřeny v roce 2015, a to s velkým výkyvem v měsících květnu, a to 6,39. Druhá nejvyšší hodnota pak byla naměřená v roce 2014 v měsíci listopadu, a to 6,32. Hodnoty pH sledovaných let se pohybovaly v rozmezí od 4,08 do 6,39 s téměř stoupavým trendem v průběhu roku. Podle Hrušky a Kopáčka (2009) je však z pohledu České republiky průměrné pH srážek v rozmezí 4,4 - 4,6. V závislosti na výši pH se mluví o kyselých deštích, avšak stanovení této hranice je problematické. Kyselý déšť je tvořen hlavně oxidy síry, které se do atmosféry dostávají nejvíce ze spalování fosilních paliv a také oxidy dusíku, které se do atmosféry dostaly z dopravy při spalování pohonných látek.



Obrázek 17: Vývoj pH ve stanici kód programu TKLES

Vývoj vodivosti atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLES) je znázorněn na obrázku (Obrázek 18).

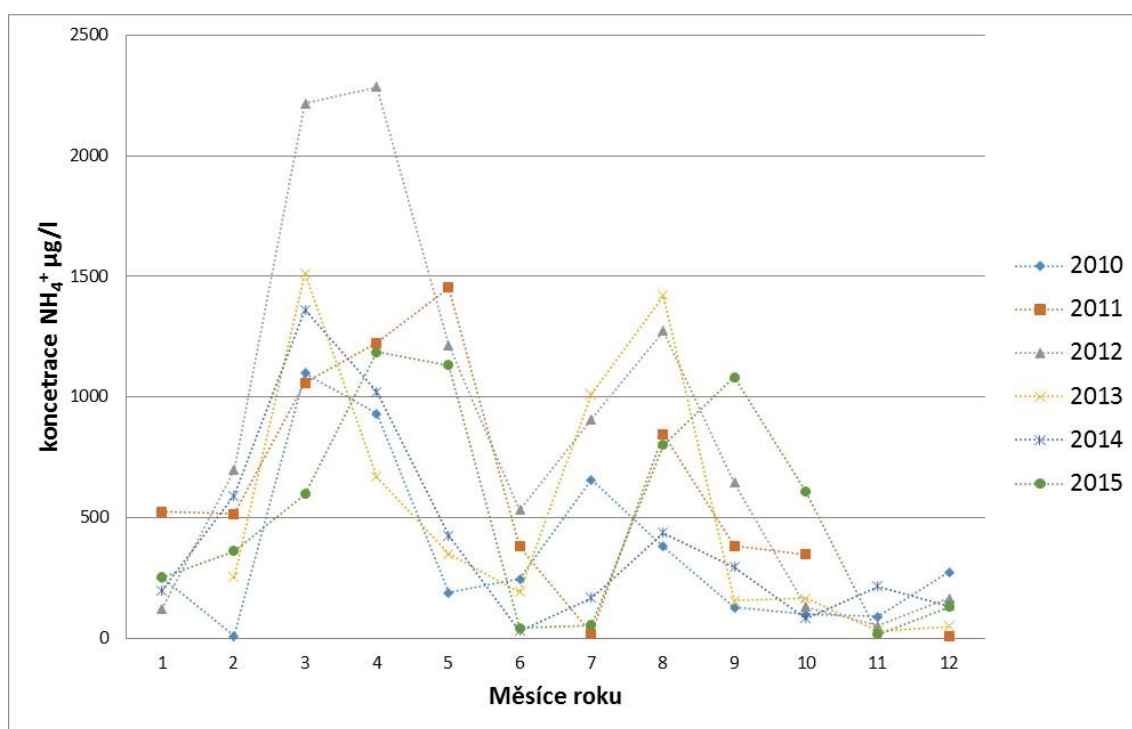
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty vodivosti byly naměřeny v roce 2011 v únoru, kdy dosáhla měsíční průměrná hodnota více jak $70 \mu\text{S/cm}$. Dále si můžeme všimnout, že hodnoty vodivosti jsou v první polovině všech sledovaných let vyšší než v druhé polovině, kde vodivost po té klesá a udržuje se s mírnými výkyvy po zbytek roku. Jelikož vodivost odráží koncentraci všech iontů ve vodě, je zvýšení vodivosti v první polovině roku pravděpodobně projevem zvýšení jak iontů NH_4^+ tak i iontů NO_3^- a SO_4^{2-} . Tyto výsledky tedy korespondují se zvýšením iontů, a to je patrné z obrázků 19. až 21. Hodnoty vodivosti se v průběhu sledovaných let pohybovaly v rozmezí 5 až $70 \mu\text{S/cm}$.



Obrázek 18: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TKLES

Vývoj koncentrace NH_4^+ atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLES) je znázorněn na obrázku (Obrázek 19).

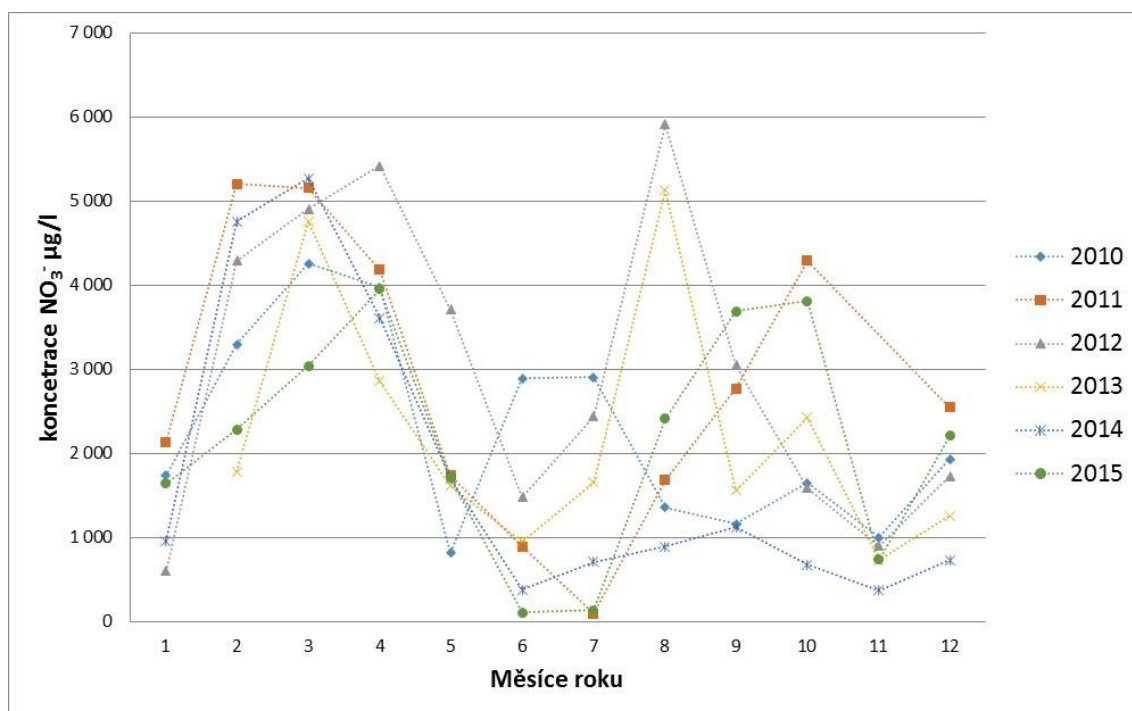
Z grafu vyplývá, že součtově nejvyšší hodnoty koncentrace NH_4^+ byly v roce 2012 v březnu a dubnu, kdy tyto hodnoty vyšplhaly až na více jako 2200 $\mu\text{g/l}$. Zvýšení koncentrace těchto iontů odráží zvýšení vodivosti (Obrázek 18). Koncentrace NH_4^+ se během všech sledovaných let pohybovala s velkými výkyvy hodnot, a to od 0 do 2286 $\mu\text{g/l}$. Křivky všech sledovaných let mají stejný průběh v obou polovinách roku, kdy se na jaře a na podzim dostanou hodnoty koncentrace na maximum a v červnu a v prosinci poté klesají na minimum. Zvýšení koncentrace iontů NH_4^+ mohlo být pravděpodobně způsobeno velkými výrobními firmami, které se nacházejí v okolí měřicí stanice. Tento iont také vzniká jako emise při procesech zpracování dřeva a chlazení poté co se chemickými procesy v atmosféře přemění z amoniaku. Zvýšení v roce 2012 v měsících březnu a dubnu mohlo být také způsobeno velkým výskytem požárů v tomto období v okrese Frýdek - Místek.



Obrázek 19: Vývoj NH_4^+ koncentrace ve stanici kód programu TKLES

Vývoj koncentrace NO_3^- atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLES) je znázorněn na obrázku (Obrázek 20).

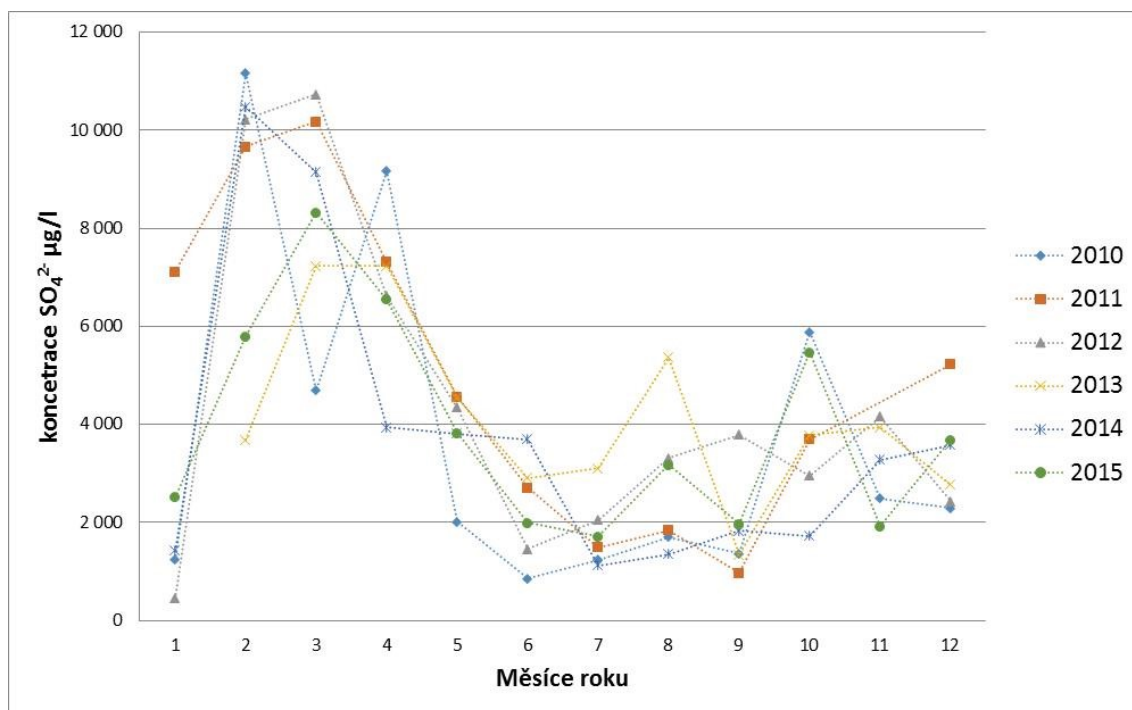
Z grafu vyplývá, že v roce 2012 byly po součtu naměřeny nejvyšší hodnoty, a to s extrémním výkyvem v srpnu. Toto převýšení podle webu Arnika (2014), který jmenuje největší znečišťovatele pro rok 2012 a Moravskoslezský kraj, může být způsobeno činností železářny a firmou pro výrobu viskózní buničiny, které se nachází v okolí této měřicí stanice. Také některé teplárny v okolí používají pro výrobu tepla spalování biomasy, při kterém vznikají emise NO_x . Tyto emise se do atmosféry také dostávají z dopravy při spalování pohonných látek. Hodnoty se během sledovaných let pohybovaly s velkými výkyvy, a to mezi 0 až 6000 $\mu\text{g/l}$, kdy bylo opět nejvyšší navýšení téměř u všech sledovaných let v první polovině roku. Poté hodnoty v červnu hodně klesly a opět na podzim vystoupaly až do 6000 $\mu\text{g/l}$. Zvýšení koncentrace těchto iontů v první polovině sledovaných let odráží zvýšenou vodivost (Obrázek 18).



Obrázek 20: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TKLES

Vývoj koncentrace SO_4^{2-} atmosférických srážek ve stanici Klepačka (kód programu TKLES) je znázorněn na obrázku (Obrázek 21).

Z grafu vyplývá, že v první polovině sledovaných let jsou hodnoty koncentrace SO_4^{2-} opět nejvyšší a spolu s vysokou koncentrací NO_3^- způsobily pravděpodobně zvýšení vodivosti (Obrázek 18). Emise SO_4^{2-} také vznikají při spalování uhlí a tedy i tohle mohlo být důsledkem navýšení koncentrace, jelikož největšího navýšení koncentrace bylo hlavně v zimním období. Zvýšení koncentrace však mohlo být také způsobeno velkými výrobními firmami, které se nacházejí v okolí měřicí stanice. Křivky jednotlivých let mají klesající trend do června, poté hodnoty koncentrace zase mírně narůstají. Všechny hodnoty v průběhu sledovaných let se pohybovaly v rozmezí 44 až 11165 $\mu\text{g/l}$.



Obrázek 21: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TKLES

Výsledky z odběrů vzorků srážkových vod v lokalitách Ostrava - Poruba (Moravskoslezský kraj) a Tovačov (Olomoucký kraj) jsou znázorněny v následujících tabulkách (Tabulka 6 a Tabulka 7).

Tabulka 6: Hodnoty naměřené v lokalitě Ostrava - Poruba

UKAZATEL		1 25. 3. 2016	2 26. 4. 2016	3 24. 5. 2016	4 12. 8. 2016
pH		6,45	6,30	5,25	7,94
vodivost	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$		78,4	53,4	100
NH_4^+	$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	1400	800	2600	2860
NO_3^-	$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	1070	2380	1980	7080
SO_4^{2-}	$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	15580	12460	2960	730

Podle výsledků se pH srážek v této lokalitě pohybuje v rozmezí 5,25 až 7,94. Z pohledu České republiky je však průměrné pH srážek v rozmezí 4,4 - 4,6 (Hruška, Kopáček, 2009). A podle Calvo et al. (2010) se u srážek s nižším pH než 5,6 jedná už o kyselý déšť. Došlo zde také k velkému zvýšení vodivosti v měsíci srpnu, kdy tento jev může být pravděpodobně odrazem zvýšení iontů NO_3^- . U hodnot NH_4^+ nedochází podle naměřených hodnot k žádnému velkému výkyvu v průběhu roku a koncentrace SO_4^{2-} má opět nejvyšší zvýšení hlavně v březnu, po té koncentrace klesá. Dá se předpokládat, že lednu a únoru byly hodnoty koncentrace také vysoké, a to z důvodu hlavně zimního období a období teplotních inverzí.

Tabulka 7: Hodnoty naměřené v lokalitě Tovačov

UKAZATEL		1 13. 2. 2016	2 21. 2. 2016	3 27. 3. 2016	4 5. 4. 2016	5 27. 4. 2016	6 12. 8. 2016	7 2. 9. 2016
pH		4,10	4,63	5,82	6,16	5,97	5	6,06
vodivost	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	41,2	40,7	246	12,2	150,4	30	55
NH_4^+	$\mu\text{g.l}^{-1}$	960	160	480	200	800	3530	1444
NO_3^-	$\mu\text{g.l}^{-1}$	3620	870	2150	610	4470	18810	0
SO_4^{2-}	$\mu\text{g.l}^{-1}$	4660	1600	8500	360	21340	1730	0

Podle výsledků se pH srážek v lokalitě Tovačov pohybuje v rozmezí 4,10 až 6,06. Z pohledu České republiky je však průměrné pH srážek v rozmezí 4,4 - 4,6 (Hruška, Kopáček, 2009). A podle Calvo et al. (2010) se u srážek s nižším pH než 5,6 jedná už o kyselý déšť. Z tabulky je také patrné, že došlo k velmi extrémnímu zvýšení vodivosti, a to v měsíci březnu a v dubnu 27. 4. 2016, kdy tohle zvýšení může být pravděpodobně ovlivněno hlavně vysokou koncentrací SO_4^{2-} taktéž v březnu a dubnu.

V obou krajích se koncentrace SO_4^{2-} vyšplhaly na nejvyšší hodnoty v březnu a dubnu, a to může souviset zejména se spalováním uhlí, kdy vzniká oxid siřičitý, který se pak chemickými procesy v atmosféře přeměňuje na ionty SO_4^{2-} . Současně se v obou krajích také objevila nejvyšší koncentrace NO_3^- , a to 12. 8. 2016. Příčina zvýšení může být například z dopravy při spalování pohonných látek.

7 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo vyhodnotit vybrané charakteristiky atmosférických srážek v Moravskoslezském a Olomouckém kraji. K vyhodnocení byly vybrány charakteristiky pH, vodivost, NH_4^+ , NO_3^- a SO_4^{2-} . Všechny naměřené hodnoty pocházejí ze sledovaných lokalit Frýdek - Místek, Olomouc a Ostrava.

V okrese Frýdek - Místek to byly měřicí stanice Červík a Klepačka, které se nacházejí v blízkosti Ostravice a hodnoty z těchto stanic v roce 2010 až 2015 jsem získala z dat databáze ČHMÚ. Kromě vyhodnocení kvality srážkových vod v tomto okrese, byly provedeny odběry vzorků srážkových vod na vybraných lokalitách Moravskoslezského a Olomouckého kraje. Vzorky vody byly v průměru jednou až dvakrát měsíčně (v závislosti na množství srážkového úhrnu) převezeny na pracoviště IEI, VŠB -TU Ostrava, kde byla analyzována a podrobena dalším testům.

Hodnoty pH se během sledovaných let pohybovaly v rozmezí od 4 do 8. V případě průmyslových oblastí, vykazují hodnoty pH známky acidity a pohybují se hlavně v rozmezí 3,5 - 4,5. V závislosti na výši pH se mluví o kyselých deštích, avšak stanovení této hranice je problematické. Normální srážky mají hodnotu pH pod 6 a jsou již mírně kyselé. Toto mírné přirozené okyselení však způsobuje oxid uhličitý. Srážky s hodnotou menší jako 5,6 se již nazývají jako kyselé deště, a čím je hodnota menší, tím jsou srážky agresivnější. Tyto srážky potom mohou způsobit například rozrušování staveb. Kyselý déšť je tvořen hlavně oxidy síry, které se do atmosféry dostávají nejvíce ze spalování fosilních paliv a také oxidy dusíku, které se do atmosféry dostaly z dopravy při spalování pohonných látek. Nejkyselejší srážky byly v období všech sledovaných let většinou v prvních měsících každého roku a poté opět na konci roku. Tyto nízké hodnoty pH mohly být ovlivněny koncentracemi všech již zmíněných iontů, které se většinou na počátcích let pohybovaly také vysoko.

Zvýšená vodivost je pravděpodobně vždy projevem zvýšených koncentrací již zmíněných iontů. Hodnoty vodivosti se během všech sledovaných let pohybovaly v rozmezí 0 až 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Vysoká vodivost atmosférických srážek byla většinou na počátcích sledovaných let, a to tedy souhlasí se zvýšenou koncentrací iontů NO_3^- , NH_4^+ a SO_4^{2-} , které byly také nejvíce zvýšené hlavně v prvních měsících každého roku. Jediná

odchylka od normálního průběhu vodivosti takřka ve všech letech se objevila v roce 2013 v říjnu, a to se vodivost vyhoupla na extrémní hodnotu, kdy za tento extrém pravděpodobně mohla velmi vysoká koncentrace NH_4^+ v tom stejném měsíci a roce.

Koncentrace NH_4^+ v ovzduší je ovlivněna například zemědělstvím, požáry v okolí, firmami pro zpracování dřeva a také výrobou biopaliva. Při těchto událostech a procesech uniká do ovzduší amoniak, který se pak chemickými procesy v atmosféře přemění na již zmíněný iont. Největší výkyvy koncentrací NH_4^+ ze sledovaných let byly v letech 2012 a 2015. V roce 2012 bylo tento výkyv největší v měsících březnu a dubnu, a to mohlo být způsobeno velkým výskytem požárů v tomto období, v okrese Frýdek - Místek. V roce 2015 pak zvýšení mohlo být ovlivněno velkou železárnou nebo firmou pro výrobu viskózní buničiny, které se nacházejí v okolí měřicích stanic Červík a Klepačka. Hodnoty koncentrace se během všech sledovaných let pohybovaly v rozmezí od 0 do 3000 $\mu\text{g/l}$ s výjimkou roku 2013, kdy koncentrace vystoupala přes 10000 $\mu\text{g/l}$.

Do ovzduší také unikají oxidy dusíku, které vznikají hlavně ze spalovacích motorů a ze spalování fosilních paliv. Tyto oxidy se poté v atmosféře přemění chemickými procesy na NO_3^- a jsou zachyceny atmosférickými srážkami. Z výše uvedených grafů vyplývá, že nejvyšší koncentrace NO_3^- byly ve všech sledovaných letech v období prvních čtyř měsíců, kdy se extrémní hodnoty vyskytovaly většinou v druhém a třetím měsíci. Koncentrace NO_3^- se během sledovaných let pohybovala v rozmezí od 0 do 6000 $\mu\text{g/l}$ kromě roku 2013 kdy se hodnota koncentrace vyšplhala až na 12500 $\mu\text{g/l}$. Tohle zvýšení mohlo být ovlivněno například činností velké železárny či firmou pro výrobu viskózní buničiny nacházejících se v okolí.

Koncentrace iontů SO_4^{2-} se během sledovaných let pohybovala v rozmezí 0 až 11000 $\mu\text{g/l}$ kromě roku 2010, kdy se zvýšení vyšplhalo až na téměř 18000 $\mu\text{g/l}$. Zvýšení koncentrace SO_4^{2-} se většinou vyskytuje nejvíce v období zimních měsíců, a to by mohlo být zapříčiněno hlavně topnou sezónou a větším spalováním uhlí. Tímto zvýšením také může dojít ke smogovým situacím, které opět vznikají hlavně v zimním období. Z výše zobrazených grafů vyplývá, že v roce 2011 byla koncentrace SO_4^{2-} u obou měřicích stanic v okrese Frýdek - Místek velmi vysoká, a to odpovídá vyhlášení smogových situací v témže období v tomhle okrese. Spolu se zvýšením koncentrace SO_4^{2-} bývá v zimním období zvýšená také koncentrace NO_3^- , kdy jsou tyto ionty součástí redukčního smogu,

který vzniká obvykle při teplotní inverzi. Dojde k nahromadění škodlivin ze spalovacích procesů a oxidy síry a dusíku pak dohromady s mlhou tvoří hustý aerosol.

Rozdíly mezi Moravskoslezským a Olomouckým krajem jsou ve všech vybraných charakteristikách. Hodnoty pH dosahují vyšších hodnot v Ostravě, zatímco vodivost dosahovala vyšších hodnot v Olomouci. Až na pár výjimek se koncentrace všech sledovaných iontů pohybovaly výše v kraji Olomouckém.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Odborné publikace

BEDNÁŘ, Jan. *Meteorologie: [úvod do studia dějů v zemské atmosféře]*. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5.

BRANIŠ, Martin a Iva HŮNOVÁ, ed. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. V Praze: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1598-1.

CALVO, A.I., et.al. *Chemical composition of wet precipitation at the background EMEP station in Vízmar (Granada, Spain). (2002-2006)*. Atmos. 2010. Res., 96: 408-420.

ČERVENÝ, Jaroslav. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.

HLAVÍNEK, P., et al. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*, 1st ed; ARDEC s.r.o., 2007. 170 s. ISBN 80-86020-55-X.

HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 80-86020-30-4.

HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2000. ISBN 80-7080-391-6.

HRUŠKA, J., KOPÁČEK, J. Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. Planeta, 2005. ročník XII., číslo 5/2005, 24 str.

JENÍČEK Vladimír a Jaroslav FOLTÝN. *Globální problémy světa – v ekonomických souvislostech*. Praha: C. H. Beck. 2000. ISBN 978-80-7400-326-4.

KLECZEK, Josip, ed. *Voda ve vesmíru, na zemi, v životě a v kultuře*. V Praze: Radioservis, 2011. ISBN 978-80-86212-98-2.

KOBLÍŽKOVÁ, E., KRATINA, J. et al. *Zpráva o životním prostředí v Moravskoslezském kraji*. Praha: MŽP, CENIA. 2014. ISBN 978-80-87770-00-9

KRÁLOVÁ, Helena a Zdeněk ZVĚŘINA. *Vodohospodářská meteorologie a klimatologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2338-2.

KRAVČÍK Michal et al. *Voda pre ozdravenie klímy – nová vodná paradigma*. Žilina: Municipalia. 2007. ISBN 978-80-969766-5-2.

KREJČÍ, Vladimír. Stavební prvky na stokové síti za účelem ochrany recipientu za deště. In: *Oddělovače dešťových vod – separátory*. Praha: 1994. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost.

LOUČKA, Tomáš. *Chemie životního prostředí*. Ústí nad Labem, 2014. Univerzita J.E.Purkyně, Fakulta životního prostředí. ISBN 978-80-7414-751-7.

MOLDAN, Bedřich. *Podmaněná planeta*. Praha: Karolinum, 2009. ISBN 978-80-246-1580-6.

PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

SCHWARZENBACH René P. *The Challenge of Micropollutants in Aquatic Systems*. Science 313, Issue 5790. 2006. pp. 1072 – 1077.

SVATOŠOVÁ, Irena. *TZB I*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2007. ISBN 978-80-248-1479-7

ŠIMEK, Miloslav. *Základy nauky o půdě*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, 2003. ISBN 80-7040-630-5.

Webové zdroje

Atomová spektrometrie. VŠCHT. [online] 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~koplikr/Atomov%C3%A1%20%20spektrometrie.pdf>

ARNIKA [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://arnika.org/>

ČHMÚ. *Základní meteorologická terminologie*. [online] Praha, 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/informace-pro-vas/meteorologicka-terminologie/zakladni-pojmy>

ČHMÚ (b). *Rok 2016 v Moravskoslezském, Olomouckém a Zlínském kraji*. [online] 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: http://maruska.ordoz.com/pocasi_prehledy/rocní_prehled_pocasi_v_moravskoslezskem_olomouckem_a_zlinskem_kraji

ČSÚ. *Statistická ročenka Moravskoslezského kraje*. Ostrava, 2015. Czso.cz [online] 2016 [cit. 2017-03-20] Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/statisticka-rocenka-moravskoslezskeho-kraje-2015>

ČSÚ. *Charakteristika kraje*. [online] 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/32249307/33009616ccz.pdf/8ed800f1-183c-4b6d-b4ce-e0d6c5d0cb61?version=1.1>

DVOŘÁKOVÁ Daniela. *Využívání dešťové vody (II) – možnosti použití dešťové vody a části zařízení. Kvalita dešťové vody a její čištění*. TZB-info.cz [online] Praha, 2007 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3962-vyuzivani-destove-vody-ii-moznosti-pouziti-destove-vody-a-casti-zarizeni>

HPLC. *Iontová chromatografie*. [online] 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: http://www.hplc.cz/Teorie/ion_chromatography.html

HRUŠKA Jakub a Jiří KOPÁČEK. *Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy*. Živa č.2, pp. 93-96. AV ČR. [online] 2009 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ucinky-kyseleho-deste-na-lesni-a-vodni-ekosystemy-2.pdf>

KAŇA Antonín a Oto MESTEK. *Atomová absorpční spektrometrie*. VŠCHT. [online] [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://old.vscht.cz/anl/lach2/AAS.pdf>

KOPAČKOVÁ Dagmar. *Kvalita srážkových vod pro vsakování*. TZB-info.cz [online] Praha, 2014 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/114821-kvalita-srazkovych-vod-pro-vsakovani>

MIHALJEVIČ Martin a Ladislav Strnad, Ondřej ŠEBEK. *Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii*. Chemické listy 98, pp. 123 – 130. [online] 2004 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_03_02.pdf

Moravskoslezský region. *Geografické informace*. Msregion.cz [online] Ostrava, 2016 [cit. 2017-03-30] Dostupné z: http://www.msregion.cz/cz/o-kraji/geograficke_informace.html

NEHASIL, Ondřej. *Proč se musí dešťová voda zadržovat v místě spadu?* TZB-info.cz [online] Praha, 2012 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/8687-proc-se-musi-destova-voda-zadrzovat-v-miste-spadu>

Politiky Evropské Unie. *Znečištění ovzduší*. Copenhagen: Evropská agentura pro životní prostředí. [online] 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/downloads/e14927de444653bd1835e374d79d8858/1484643935/intro.pdf>

Spektrofotometrie. Eparo. [online] 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://vyuka.eparo.cz/isame/spektrofotometrie.pdf>

Střední Morava. *Geologie, geomorfologie a podnebí*. [online] Olomouc, 2017 [cit. 2017-04-19] Dostupné z: <http://www.strednimorava-tourism.cz/vice-o-stredni-morave/priroda/geologie-podnebi>

Normy, vyhlášky a zákony

ČSN 75 9010 (2012). *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. ISBN nemá.

ČESKO (2012). *Vyhláška 268/2009 Sb.* Vyhláška o technických požadavcích na stavby. Částka 81/2009.

ČESKO (2009). *Vyhláška 269/2009 Sb.* Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území. Částka 81/2009.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AAS	atomová absorpční technologie
COHb	karbonylhemoglobin
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČSN	česká technická norma
DDT	dichlordifenyltrichlorethan
FAAS	plamenná atomová absorpční reakce
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
IC	iontová chromatografie
MHz	megahertz, jednotka frekvence
mS/m	milisiemens na metr, jednotka vodivosti
NEL	nepolární extrahovatelné látky
NUTS	nomenklatura územních statistických jednotek
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyly
PCDD	polychlorované dibenzo-p-dioxiny
PCDF	polychlorované dibenzofurany
UV	ultrafialové záření

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rozdělení potřeby vody dle činností na pitnou a využitelnou srážkovou	20
Obrázek 2: Vývoj pH ve stanici kód programu TCRVB	33
Obrázek 3: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TCRVB	34
Obrázek 4: Vývoj koncentrace NH_4^+ ve stanici kód programu TCRVB	35
Obrázek 5: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TCRVB	36
Obrázek 6: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TCRVB	37
Obrázek 7: Vývoj pH ve stanici kód programu TCRVS	38
Obrázek 8: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TCRVS	39
Obrázek 9: Vývoj koncentrace NH_4^+ ve stanici kód programu TCRVS	40
Obrázek 10: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TCRVS	41
Obrázek 11: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TCRVS	42
Obrázek 12: Vývoj pH ve stanici kód programu TKLEB	43
Obrázek 13: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TKLEB	44
Obrázek 14: Vývoj koncentrace NH_4^+ ve stanici kód programu TKLEB	45
Obrázek 15: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TKLEB	46
Obrázek 16: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TKLEB	47
Obrázek 17: Vývoj pH ve stanici kód programu TKLES	48
Obrázek 18: Vývoj vodivosti ve stanici kód programu TKLES	49
Obrázek 19: Vývoj NH_4^+ koncentrace ve stanici kód programu TKLES	50
Obrázek 20: Vývoj koncentrace NO_3^- ve stanici kód programu TKLES	51
Obrázek 21: Vývoj koncentrace SO_4^{2-} ve stanici kód programu TKLES	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Intenzita deště.....	12
Tabulka 2: Zdroje znečištění dešťových vod	16
Tabulka 3: Průměrné obsahy anorganických látek.....	17
Tabulka 4: průměrné obsahy těžkých kovů.....	18
Tabulka 5: Požadavky na složení dešťové vody ze střech	22
Tabulka 6: Hodnoty naměřené v lokalitě Ostrava - Poruba	53
Tabulka 7: Hodnoty naměřené v lokalitě Tovačov	54